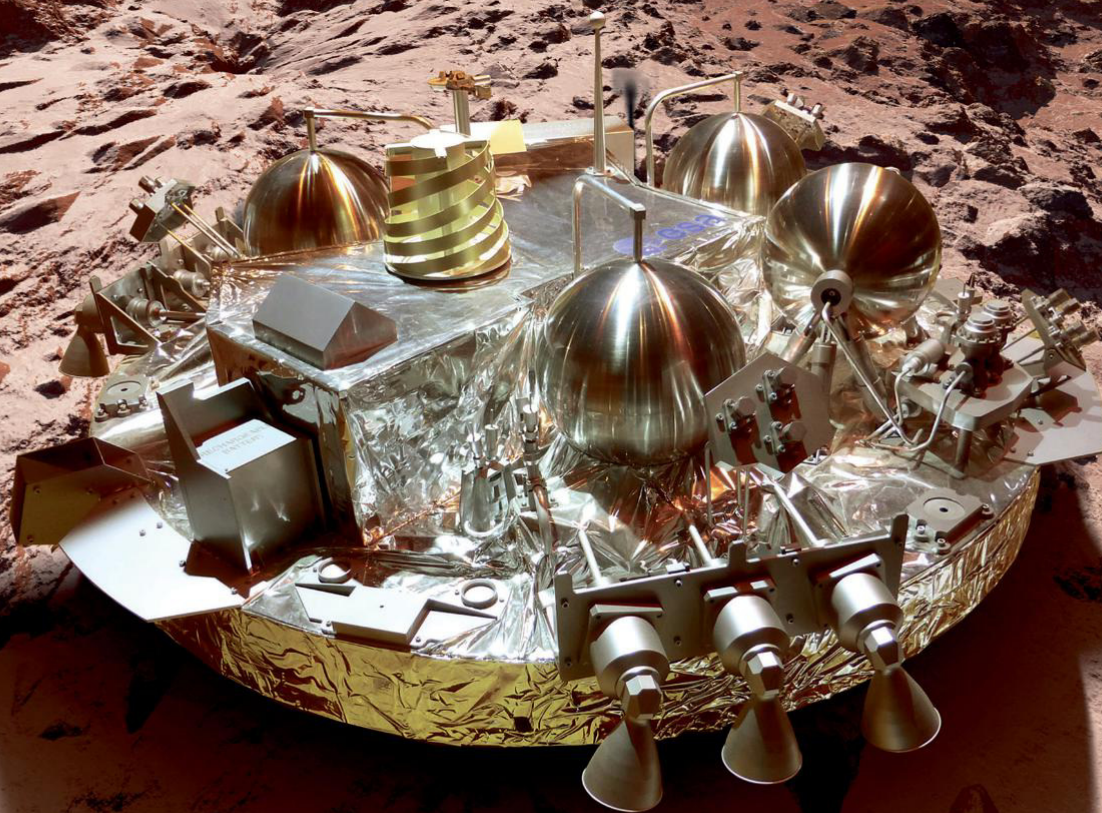
Il segreto degli atleti campioni di velocità

Ottobre 2016 € 4,50

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Italiani su Marte

Guidata dall'Italia, la missione ExoMars, con il lander Schiaparelli, è un passaggio cruciale dell'esplorazione del Pianeta Rosso

Materiali

Benvenuti a Flatlandia, il mondo dei materiali bidimensionali

Cosmologia

Il misterioso supervuoto che si estende per 18 miliardi di anni luce

ART DÉCO

Gli anni ruggenti in Italia

FORLÌ

Musei San Domenico

11 febbraio
18 giugno 2017

informazioni
tel. 0543.1912030-031

catalogo
SilvanaEditoriale

Fondazione
Cassa dei Risparmi
di Forlì

in collaborazione
con
Comune di Forlì

IN COPERTINA

La missione ExoMars dell'Agenzia spaziale europea entrerà in orbita attorno a Marte il 16 ottobre e il suo lander Schiaparelli scenderà sul suolo del Pianeta Rosso. (Immagine: Detlev Van Ravenswaay/SPL/Contrasto)

Sommario

novembre 2016 numero 578

52

Alfred Pasieka/SPL/Contrasto

Sommario

15

17

90

Rubriche

SCIENZA NEWS

Anup Shah/Getty Images *(in alto)*; Cortesia M. Kommesser/ESO *(al centro)*; Westend61/Getty Images *(in basso)*

LUCA DE BIASE
TELMO PIEVANI

COME SAREMO

LUCA DE BIASE
TELMO PIEVANI
COME SAREMO

240 pagine
Euro 18,00

«L'UNICO MODO PER PREVEDERE IL FUTURO È INVENTARLO. E AGIRE NEL PRESENTE È LA SOLA MACCHINA CHE ABBIAMO PER VIAGGIARE IN AVANTI NEL TEMPO».

Il futuro è definitivamente entrato nella nostra vita quotidiana.
Cosa possiamo fare di fronte alle sfide che ci riserva?
Telmo Pievani e Luca De Biase ci offrono un libro originale, in cui l'approccio evoluzionistico è la chiave di lettura del progresso tecnologico.

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it

facebook.com/in.codice
twitter.com/codice_codice
pinterest.com/codice_codice

di Marco Cattaneo

L'eredità di Schiaparelli

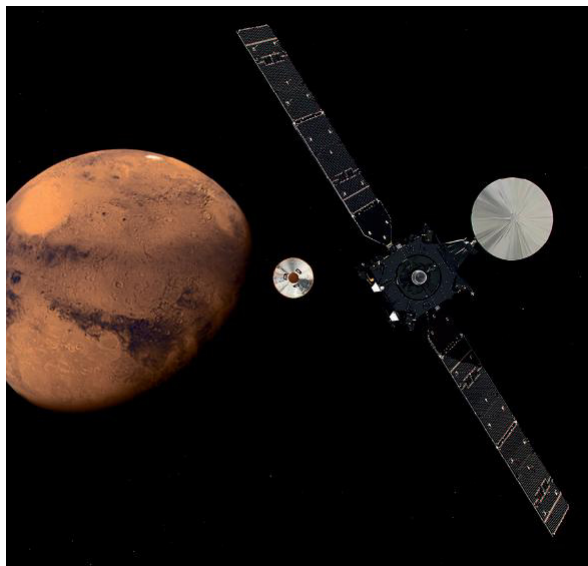
La missione europea ExoMars parla soprattutto italiano

Sono trascorsi quasi 140 anni da quando Giovanni Virginio Schiaparelli innescò – involontariamente, s'intende – uno dei più celebri equivoci della storia della scienza. Era il 1877, quando nel corso delle sue osservazioni di Marte l'astronomo piemontese, direttore dell'Osservatorio di Brera, a Milano, identificò sulla superficie del pianeta una fitta rete di linee che chiamò «canali».

Cortesia ESA/ATG medialab

Anni dopo, nel 1895, scriveva: «Piuttosto che veri canali della forma a noi più familiare, dobbiamo immaginarci depressioni del suolo non molto profonde, estese in direzione rettilinea per migliaia di chilometri, sopra larghezza di 100, 200 chilometri od anche più». Ma ormai una maldestra traduzione in inglese che li chiamava *canals*, il termine con cui si indicano i canali artificiali, anziché *channels*, usato per i canali naturali, aveva innescato un turbine di ipotesi e polemiche sui misteriosi abitanti che potevano aver costruito quelle imponenti opere. Ci volle quasi un secolo perché le prime foto scattate dalla sonda statunitense Mariner 4 mettessero fine alle discussioni, e perché la prima mappa dettagliata di Marte mettesse in mostra una specie di immane deserto massacrato da crateri da impatto, profondi solchi e giganteschi vulcani.

Il lavoro di Schiaparelli su Marte, compendiato in tre volumi pubblicati tra il 1893 e il 1909, fu imponente. Così non c'è da sorprendersi se l'Agenzia spaziale europea ha deciso di intitolargli il *lander* che tra pochi giorni inizierà la manovra per scendere sulla superficie del Pianeta Rosso. Tanto più che l'Italia, come ricorda Enrico Flamini in queste pagine, ha un ruolo di primo piano nella missione sia dal punto di vista scientifico sia da quello tecnologico. E le aziende italiane sono state in prima linea nella costruzione di molte parti della sonda, oltre che del lander.

Così, con il nostro paese primo finanziatore da una parte e Thales Alenia Space Italia capofila del consorzio dall'altra, c'è davvero tanta Italia in una missione che si propone di cercare tracce di vita passata o presente e di approfondire la geochimica e la geofisica del pianeta. E anche sotto questo profilo gli scienziati italiani, che hanno una lunga tradizione fin dall'epoca delle missioni Viking, quarant'anni fa, sono in prima linea per lo studio delle informazioni che saranno inviate dagli strumenti.

Insomma, non saremo tornati ai leggendari tempi di Luigi Broglio, quando il nostro paese era il terzo nel mondo a mandare in orbita un satellite artificiale, ma il ruolo italiano nella scienza e nella tecnologia dello spazio è ancora un ruolo di primo piano. C'è da chiedersi fino a quando riusciremo a mantenerlo.

Comitato scientifico

Nel regno di Cupido

A richiesta con il numero di novembre *Sull'amore,* libro di Jonah Lehrer

Amore, basta la parola per scatenare discussioni, accendere passioni, sollecitare azioni, e da qualche tempo anche studi di carattere scientifico su natura e identità di questo sentimento. Ammesso che sia possibile definire i confini di uno dei motori più potenti dell'esistenza umana. Complice lo sviluppo delle neuroscienze e un'ondata di studi di carattere psicologico, l'amore non è più una questione per artisti (da quelli della parola a quelli dell'immagine) e filosofi, ma terreno di indagine anche per i ricercatori, i quali tuttavia non hanno dato vita a un ambito di ricerca specializzato per il regno di Cupido. A tirare le fila di questo sapere sparpagliato ci prova Jonah Lehrer con *Sull'amore*, libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di novembre e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni.

Sebbene la scienza del sentimento più nobile per definizione non sia un settore organico, a ben vedere l'opera di Lehrer segue un preciso filo rosso: il conflitto tra abitudine e amore, sperimentato nelle relazioni. È esperienza comune quella sensazione di noia e disinteresse che emerge da contesti considerati abitudinari dopo un certo lasso di tempo, cioè dopo la ripetuta esposizione a stimoli sempre uguali. Questo tuttavia non accade in quello che noi chiamiamo amore, un altro nome, scrive l'autore, per ciò che non invecchia mai. Non si tratta di un desiderio capriccioso e romantico alla Romeo e Giulietta, specifica Lehrer, ma uno stretto legame duraturo, prodotto non da una passione travolgente, bensì da una serie di abilità coltivate nel tempo. La chiave di tutto, secondo l'autore, è la formazione dell'attaccamento. Ed è appunto con la nascita dell'attaccamento nei confronti dei nostri genitori che si apre il libro, un evento che influirà per tutta la vita sulle nostre abilità, o meno, di creare relazioni segnate dall'amore. Lehrer prosegue poi estendendo il principio dell'attaccamento al cosiddetto amore romantico per il proprio partner (che come abbiamo già accennato poi romantico non è), i propri figli e genitori, per poi sfociare nell'ambito spirituale, con incursioni anche nella letteratura e nei tanti manuali che propongono ricette psicologiche e comportamentali grazie a cui dire .

L'amore però, come insegna l'esperienza, può fare anche male, addirittura può distruggere. Non rifugge Lehrer da questo lato oscuro, anzi, complice una sua vicenda professionale di qualche anno fa, vi entra senza sconti. Astro nascente come scrittore di scienza, nel 2012 un suo libro era stato ritirato dal mercato perché Lehrer aveva inventato di sana pianta alcune dichiarazioni citate nel testo ed erano presenti passaggi in cui faceva affidamento su fonti secondarie che però non erano citate; in più nello stesso periodo erano stati scoperti suoi episodi di autoplagio.

Subito dopo l'emergere dello scandalo, Lehrer ha deciso di pagare pegno senza sconti. Si è dimesso dal prestigioso settimanale «New Yorker», dove da poco era stato assunto nell'invidiabile posizione di *staff writer*; ha ammesso pubblicamente le proprie responsabilità per attraversare il deserto e ricominciare di nuovo; soprattutto ha affrontato il passaggio più duro, parlare alla sua famiglia di quanto accaduto. Proprio quest'ultima prova, racconta Leherer, è stata una dimostrazione di amore. Ma di quell'amore che fa male, quando si deve guardare negli occhi le persone che ami di più e mostrare il tuo lato peggiore, sapendo che è possibile farcela.

Andrew Bret Wallis/Getty Images

La scienza a fumetti

Dal 30 settembre nelle edicole *I manga delle scienze*, una collana settimanale

PIANO DELL'OPERA

30 SETTEMBRE 2016
Fisica
Alla scoperta della meccanica classica con oggetti di uso quotidiano.

7 OTTOBRE
Analisi matematica
Il calcolo di funzioni e di integrali, e le applicazioni nel mondo reale.

14 OTTOBRE
Relatività
La teoria di Albert Einstein che ha rivoluzionato la fisica.

21 OTTOBRE
Biologia: DNA e genetica
Un viaggio nel corpo umano con la biologia molecolare.

28 OTTOBRE
Statistica
Categorizzare, analizzare e capire insiemi di dati.

4 NOVEMBRE
Astronomia
Esplorare il sistema solare, la nostra e altre galassie, e il cosmo lontano.

11 NOVEMBRE
Database
Che cos'è una banca dati, come progettarla e come gestirla.

18 NOVEMBRE
Elettricità
La scienza degli elettroni e dei campi magnetici fino ai superconduttori.

Appassionati di fumetti e di scienza, ci siamo: è scattata l'ora X. Dal 30 settembre è in edicola *Fisica*, il primo volume della collana *I manga delle scienze*, un'iniziativa di «Le Scienze» e «la Repubblica», in vendita a 9,90 euro in più oltre al prezzo della rivista (che possono essere richiesti anche dagli abbonati come indicato nella pagina a fronte). E anche se non siete appassionati di pubblicazioni illustrate scommettiamo che questo viaggio nella scienza con cadenza settimanale (*si veda il piano dell'opera in alto a destra*) animato da fumetti in stile giapponese vi conquisterà.

Nella prima uscita (240 pagine), Megumi Ninomiya è una studentessa delle superiori e promessa dello sport che ha qualche problema con la fisica. Grazie alla sua passione per il tennis e a esperienze con oggetti di uso quotidiano, Megumi riuscirà ad acquisire una comprensione strutturata e approfondita della meccanica classica, dal principio di azione e reazione ai concetti di forza e di moto, dalla quantità di moto all'energia. Di questo primo volume, che tratta la meccanica classica, l'«American Journal of Physics», mensile dell'American Association of Physics Teachers e del prestigioso American Institute of Physics, ha scritto che approccio in stile *cartoon* e storia sono così avvincenti e convincenti che la pubblicazione dovrebbe essere considerata da ogni docente di scuola superiore e di *college* intenzionato a introdurre alla fisica i propri alunni.

Nel secondo manga, *Analisi matematica*, in uscita il 7 ottobre, la protagonista è la giovane giornalista Noriko, che imparerà ad analizzare con occhio matematico i temi economici e le questioni globali che intende raccontare ai lettori. I protagonisti saranno diversi rispetto alle prime due uscite anche in *Relatività*, in cui una classe poco volenterosa dovrà studiare la teoria di Albert Einstein, e in *Biologia: DNA e genetica*, dove Rin e Ami intraprenderanno un viaggio virtuale nel corpo umano per osservare da vicino la biologi molecolare in azione.

Ogni manga della serie è accompagnato da pagine in cui non ci sono fumetti, ma dove si possono trovare test e spiegazioni testuali dei concetti illustrati che rendono ciascun manga un sostegno valido per i libri di testo destinati a scuole superiori e corsi introduttivi universitari. Perché la didattica della scienza può essere profonda, rigorosa e divertente allo stesso tempo.

di Valentina Murelli

Pericoli virali dai tropici

Peter Hotez spiega perché l'incidenza di malattie tropicali «dimenticate», che interessano poco le aziende farmaceutiche, è in aumento: anche nei paesi ricchi

Il 2014 e il 2015 sono stati gli anni dell'epidemia di Ebola in Africa occidentale, mentre il 2016 si è aperto all'insegna dell'emergenza Zika in America centrale e meridionale. L'incidenza della febbre dengue sta crescendo rapidamente in tutto il mondo, in Siria esplodono i casi di leishmaniosi cutanea e in Grecia ha rifatto capolino la malaria. Secondo Peter Hotez, tra i massimi esperti di malattie tropicali dimenticate, quelle che colpiscono le popolazioni più povere e interessano poco ad aziende farmaceutiche e organizzazioni internazionali, siamo chiaramente di fronte a una tendenza generale. E ad aumentare sono in particolare le malattie trasmesse da insetti vettore: tutte quelle citate sopra, a parte Ebola.

Perché questa tendenza, professore?

Dipende da vari fattori che hanno molto a che fare con la natura delle nostre società e l'impatto delle attività umane sull'ambiente. Quello dominante è la povertà, ma attenzione: diversamente da quanto abbiamo sempre pensato, il problema non riguarda solo i paesi più poveri del mondo. Sono coinvolti anche paesi più ricchi che però ospitano sacche importanti di povertà e degrado. Non a caso l'epidemia di Zika è esplosa nel nord-est del Brasile, area estremamente povera di un paese che pure conosce grandi punte di industrializzazione e sviluppo. E la stessa situazione variegata si può trovare in altri membri del G20, come Cina, Messico, Indonesia: una condizione che ho definito *blue marble health*, con riferimento alla famosa immagine della Terra scattata dall'Apollo 17 e che oggi è considerata simbolo di pace e riconciliazione.

Tra l'altro, uno dei grandi problemi legati a queste malattie è che la povertà ne è una causa, ma anche una conseguenza, perché le persone colpite non riescono a studiare o a lavorare con piena efficienza. Diventa un circolo vizioso inesorabile.

Povertà, dunque. E poi?

Vanno messi in conto conflitti, migrazioni umane, deforestazione, urbanizzazione, cambiamenti climatici che possono ampliare l'areale di distribuzione degli insetti. Sono cause strettamente interconnesse, il che rende difficile capire che cosa pesi di più. Credo che questa sia una delle sfide principali per gli scienziati del futuro, che per vincerla dovranno imparare ad affrontare problemi complessi in modo multidisciplinare.

Quali sono i punti caldi del pianeta rispetto alla possibile emergenza di nuove epidemie?

Tutte le aree in cui convergono i fattori di cui parlavo. Di sicuro va tenuta d'occhio l'Europa meridionale, un'area con paesi in sofferenza economica, su cui si riversano i profughi provenienti dai conflitti in Medio Oriente, interessata in modo pesante dai cambiamenti climatici. Qualche segnale preoccupante c'è già: in Grecia sono ricomparsi casi autoctoni, cioè non portati da migranti, di malaria, in Italia si registrano periodicamente piccoli focolai di febbre West Nile, in Corsica sono stati segnalati casi di trasmissione locale di schistosomiasi.

Orlando Sierra/AFP/Getty Images

In che modo un conflitto può essere legato all'esplosione di queste malattie?

Di nuovo sono in gioco diversi fattori: deterioramento delle condizioni igieniche, smantellamento dei sistemi sanitari, affollamento dei campi per i rifugiati, difficoltà nel reperimento di medicinali. Così, praticamente ogni volta che si verifica un conflitto segue a ruota un'emergenza sanitaria.

Lo abbiamo visto in Africa negli ultimi trent'anni, con centinaia di migliaia di morti di leishmaniosi viscerale e malattia del sonno che hanno accompagnato i conflitti in Congo, Sudan, Etiopia, Angola. Lo abbiamo visto più di recente con Ebola in Liberia, Guinea, Sierra Leone, tutti paesi devastati dalla guerra. Lo stiamo vedendo nei campi profughi in Siria, Libia, Iraq, Yemen, dove si stanno moltiplicando i casi di leishmaniosi cutanea. Sono situa-

CHI È

Peter Hotez, pediatra e parassitologo, è preside della scuola di medicina tropicale del Baylor College of Medicine di Houston, direttore del centro di sviluppo vaccini del Texas Children's Hospital e presidente del Sabin Vaccine Institute di Washington.

Lavora da sempre a vaccini per malattie tropicali dimenticate: quelli per schistosomiasi e anchilostomiasi sono in sperimentazione clinica. Nel 2011 ha vinto il premio Abraham Horwitz per l'eccellenza nella leadership in progetti di salute pubblica inter-americana.

Si dedica al coinvolgimento dell'opinione pubblica su temi scientifici e nel 2015 è stato US Science Envoy del Department of State, con l'obiettivo di promuovere comunicazione e cooperazione sulle malattie dimenticate con Medio Oriente e Nord Africa.

Ricerca e prevenzione. Hotez in laboratorio; accanto donna incinta in un ospedale di Tegucigalpa, in Honduras, dove sono stati registrati focolai epidemici di Zika, virus a rischio microcefalia per il neonato.

Cortesia Peter Hotez (*tutte e due le foto in questa pagina*)

zioni molto complesse, e anche parlarne nel modo giusto lo è, perché si rischia di generare reazioni sbagliate.

Per esempio?

Spesso la prima reazione è il rifiuto dell'immigrazione e dei migranti, ma così si dimenticano gli altri aspetti coinvolti. L'Europa meridionale non è a rischio perché è in corso la crisi dei rifugiati. Lo è per la sua fragilità economica ed ambientale, a cui al massimo la crisi dei rifugiati si aggiunge. Ecco perché servono persone che sappiano affrontare il problema da tutti questi punti di vista o almeno dialogare con diversi specialisti: economisti, urbanisti, scienziati ambientali, sociologi, medici, epidemiologi, biologi.

La tendenza alla diffusione di queste malattie dipende solo da fattori umani?

Non sempre. Nel caso di Zika, per esempio, il sequenziamento del virus ci dice che negli ultimi vent'anni sono avvenute mutazioni importanti, che hanno reso più efficiente la sua replicazione nelle cellule dei mammiferi.

A che punto siamo con sistemi di diagnosi, vaccini e farmaci per le malattie tropicali dimenticate?

Sono state fatte alcune cose molto buone, come la messa a punto, con il contributo delle aziende farmaceutiche, di un pacchetto di farmaci antiparassitari a basso costo e di facile distribuzione, che permette di debellare alcune malattie (elefantiasi, tracoma, oncocercosi) e di tenerne sotto controllo altre. Però moltissimo rimane da fare, soprattutto sul fronte vaccini. Il problema fondamentale è che i fondi a disposizione sono pochissimi. Negli ultimi decenni c'è stato un grande sforzo per combattere malaria e AIDS, ci sono stati grandi investimenti sia per i vaccini sia per i farmaci, mentre nel caso delle altre malattie tropicali non ci sono mai fondi sufficienti per più ambiti. È come se il mondo intero ci dicesse: o fate i farmaci o fate i vaccini.

Pensa che Zika potrà diffondersi in Nord America e in Europa?

Per quanto riguarda gli Stati Uniti sono a rischio le aree in cui coesistono presenza dell'insetto vettore, la zanzara *Aedes aegipty*, sacche di povertà e affollamento urbano: penso a Miami, New Orleans, Houston, Tucson. In Europa è una possibilità, certo, ma va ricordato che non avete *A. aegipty*. C'è un suo parente, *A. albopictus* (la zanzara tigre), ma per ora è molto meno efficace nella trasmissione del virus. A preoccuparmi è piuttosto la zona dell'Africa occidentale e del Medio Oriente, in cui il vettore è presente. L'haji, il sacro pellegrinaggio alla Mecca, ha contribuito in modo significativo a diffondere il virus Dengue. Potrebbe accadere lo stesso con Zika.

di Letizia Gabaglio

Una marcia in più per le bici

Nata in un garage dell'Emilia-Romagna, la start-up Bikee Bike punta a rivoluzionare la tecnologia dei motori elettrici per biciclette

Interi pomeriggi passati a smontare e rimontare motori di tutti i tipi. Ecco come hanno trascorso gran parte della loro adolescenza Matteo e Luca Spaggiari. Siamo in Emilia-Romagna, nella cosiddetta valle dei motori, dove la passione per auto e moto sportive si respira nell'aria, si tramanda di generazione in generazione. È in quel garage che affonda le sue radici Bikee Bike, *start-up* che i due fratelli hanno presentato alla fine di settembre a Interbike, la fiera della bicicletta più importante nel mondo, che si è tenuta a Las Vegas. In mezzo, negli anni intercorsi fra quei primi tentativi e la costituzione della loro azienda, la formazione: il fratello maggiore sceglie economia e diventa un manager, quello minore studia ingegneria meccanica. Entrambi fanno esperienze di lavoro all'estero: Luca in Cina, dove dirige delle aziende e ne fonda una sua, Matteo negli Stati Uniti, dove lavora alla realizzazione di motori elettrici. Ma la nascita di Bikee Bike si deve più che altro alla volontà di raccogliere una sfida.

Il limite della salita

«Qualche anno fa parlando con un amico che vende motocicli mi sono reso conto di quanto il panorama fosse cambiato: negli ultimi anni il mercato è crollato», racconta Matteo Spaggiari. «Lui però era ottimista: la soluzione sono le biciclette elettriche, mi ha detto. Ma devi riuscire a farle andare bene anche in salita». La sfida è lanciata. Matteo comincia a pensare a prototipi, a cercare di trovare il modo di realizzare un motore e un riduttore piccoli al punto di poter essere montati su qualsiasi bicicletta e allo stesso tempo abbastanza potenti da non dover obbligare il ciclista a pedalare quando decide di fare una salita. «È questo il limite che impedisce la diffusione delle bici elettriche, se non in zone pianeggianti», spiega ancora Spaggiari. «Siamo convinti che una volta superato questo limite le biciclette elettriche spopoleranno e che questa sarà finalmente la chiave di volta per tutti i veicoli non inquinanti. Quando le persone si renderanno conto di quanto sia silenzioso e confortevole viaggiare su un veicolo elettrico non vorranno più tornare indietro».

L'esperienza negli Stati Uniti ha insegnato al giovane emiliano la forza del Web; così, fin dalle prime mosse della sua nuova avventura, l'ingegnere condivide idee e prototipi sulla rete. Ed è qui che i suoi disegni sono intercettati da un acceleratore per start-up del Trentino-Alto Adige che decide non solo di finanziare il progetto, ma di investire nel progetto forze e tecnologia dei suoi partner industriali. Sono passati quasi due anni da quando la sfida è

LA SCHEDA

Bikee Bike

Fatturato
300.000 euro

Investimenti in ricerca
360.000 euro

Dipendenti/collaboratori
4 di cui 3 impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
2

Cortesia Bikee Bike (*tutte le foto in questa pagina e a fronte*)

Elettrici e digitali.
Il kit di Bikee Bike, con il motore elettrico, il cuore pulsante dell'impresa di Matteo e Luca Spaggiari, e l'applicazione per smartphone.

Premiati. Sopra Matteo Spaggiari di Bikee Bike mentre riceve l'assegno del premio Ford. Nella pagina a fronte, biciclette con montato il kit della start-up nata in Emilia-Romagna, e in basso una *trike*, ovvero una bicicletta a tre ruote.

stata lanciata, è il 2014 ed è tempo di trasformare un'idea in realtà. Il fratello maggiore, Luca, decide di lasciare la Cina e di lavorare a tempo pieno alla nuova creatura di famiglia.

Il cuore pulsante dell'impresa è un motore elettrico che si installa in poche decine di minuti sul telaio e trasforma una bicicletta in un motociclo *ecofriendly*. Il fondatore di Bikee Bike ha sfruttato la sua esperienza nel mondo dei motori elettrici per sviluppare un nuovo modello di motore «*mid-drive*» che sviluppa una coppia tripla rispetto alla concorrenza nonostante le dimensioni esterne siano solo un terzo dei prodotti più diffusi sul mercato. L'estrema compattezza è ancora più sorprendente considerando il rapporto di riduzione estremamente spinto del motore che permette di mantenere il regime di rotazione prossimo alla massima efficienza. Risultato: un aumento delle prestazioni, specie in termini di coppia, e riduzione drastica del consumo della batteria.

«La nostra forza sta nell'aver lavorato contemporaneamente alla progettazione meccanica ed elettrica. Spesso le due linee di ricerca sono indipendenti, ci sono due ingegneri e ognuno lavora alla sua parte e solo alla fine si cerca di metterle insieme. Noi, al contrario, abbiamo integrato i due aspetti fin dall'inizio», commenta Spaggiari. Una tecnologia che ha ricevuto diversi riconoscimenti: il premio Ford come miglior start-up *automotive* al Consumer Electronics Show (CES) 2016, il premio italiano meccatronica 2016 sezione start-up e il premio Edison Pulse categoria «*low carbon city*». «Il motore trasferisce il moto attraverso la catena della bici, potendo così sfruttare tutte le marce della ruota posteriore abbinandole a due corone frontali, una piccola per le salite e una per la velocità», spiega l'ingegnere. «Le due caratteristiche permettono alle bici equipaggiate con questo prodotto di affrontare agevolmente salite fino al 58 per cento di inclinazione».

Passano altri due anni, arriviamo a oggi, e Bikee Bike è pronta a vendere i primi pezzi. Ancora una volta ad aiutare i fratelli è stata la rete: grazie al sito di *crowfounding* Kickstarter, l'azienda italiana si fa conoscere nel mondo e raccoglie oltre 145.000 euro di pre-ordini in poche settimane. Il motore degli Spaggiari si può adattare alle legislazioni in materia di bici elettriche di differenti paesi senza perdere la corposa coppia motrice e quindi la capacità di scalare le salite anche più ardue.

Motore su misura

Ma perché hanno scelto di sviluppare e produrre un kit e non una bicicletta? «Abbiamo scelto un kit di conversione anziché una bici completa dopo aver ascoltato necessità e richieste di migliaia di persone. Sapendo che è impossibile creare una bici perfetta per tutti, abbiamo deciso di creare un motore che si potesse adattare a ogni singola esigenza», va avanti l'ingegnere. Il motore, il cui costo varia a secondo della potenza, può essere installato sulla maggior parte delle biciclette – pieghevoli, da città o *mountain bike*, con ruote piccole o *fat bike* - e può essere spostato quando si decide di comprare una bici nuova. In più si può personalizzare grazie a una *app*: Spaggiari ha sviluppato un programma con cui si può modificare la risposta del motore adattandola alle proprie esigenze agendo sul proprio *smartphone*.

Tornati da Las Vegas, dove il kit è stato presentato ufficialmente al mercato, i due fratelli ora dovranno decidere dove realizzare l'impianto di produzione per cominciare a spedire in tutto il mondo il loro prodotto. Dal garage allo stabilimento.

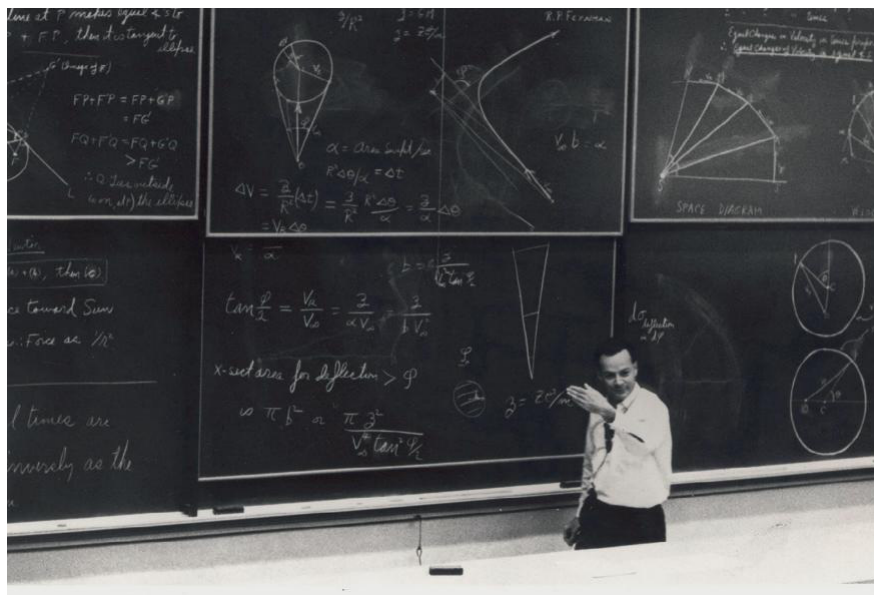
di Telmo Pievani
è professore ordinario di filosofia delle scienze biologiche
dell'Università degli Studi di Padova

Basta spaccare capelli in quattro

La filosofia è utile agli scienziati se supera le discussioni sui soliti autori e problemi

La storia conta, anche nella scienza. Chi studia le cause e le conseguenze di eventi scientifici passati può infatti valorizzare ipotesi alternative che erano state ingiustamente abbandonate. Lo sostiene lo storico e filosofo della scienza dell'Università di Leeds, Gregory Radick, presidente della British Society for the History of Science, che in un recente editoriale su «Nature» ha raccontato un curioso esperimento didattico controfattuale in cui ha insegnato a una classe di studenti una versione alternativa della storia della genetica: anziché vincere la corrente gene-centrica e deterministica dei mendeliani di primo Novecento (un gene, un carattere), predomina la visione più interazionista e contestuale del biologo e statistico W.F. Raphael Weldon, oggi rivalutata dagli studi di epigenetica e biologia evoluzionistica dello sviluppo. Ebbene, gli studenti esposti a questa storia virtuale sono stati giudicati (da biologi) più inclini a comprendere le ricerche genetiche attuali.

Quando un modello cade (oggi nessuno difende più il determinismo genetico), è bene ricordarsi di chi già in passato lo aveva criticato, e per quali ragioni. Spesso le idee dei grandi innovatori, come Darwin e Mendel, sono state troppo irrigidite dai loro epigoni. Lo scavo storico può quindi aiutare la ricerca in molti sensi, offrendo profondità critica e favorendo la creatività degli scienziati, poiché «persino la scienza più rigorosa porta lo stampo delle circostanze storiche in cui è nata». Ma affinché il dialogo funzioni storici e filosofi della scienza devono farsi capire dagli scienziati, secondo Radick, lavorando sempre a stretto contatto con loro, non propriamente dentro il laboratorio (perché fanno mestieri diversi e sarebbe un pasticcio) ma «nello stesso corridoio» sì. Uno storico e un filosofo di una certa disciplina scientifica devono quindi conoscere a livello avanzato la materia specifica di cui si occupano, il che non esclude che possano poi gettare ponti con altre discipline e proporre sintesi più generali.

In questa prospettiva, la questione dell'utilità o meno della filosofia per gli scienziati non sembra poi così mal posta come ritiene Elena Castellani (*si veda la rubrica «Scienza e filosofia» di settembre*). Va da sé che la dichiarazione di morte della filosofia sottoscritta da Stephen Hawking è un'esagerazione insensata. Il contributo che una solida e aggiornata filosofia può dare alla scienza – in termini di analisi concettuale, chiarezza terminologica, costruzione di modelli e interpretazione dei dati – è preziosissimo. È vero che l'essere utile alla scienza non è la sola ragion d'essere della filosofia della scienza, ma non è nemmeno un *optional*. Non si capisce infatti quale senso possa avere il lavoro di un filosofo di una data disciplina scientifica i cui scritti e le cui tesi siano ignorati o accolti con indifferenza dagli scienziati che fanno effettivamente quella disciplina. Questo purtroppo è ciò che accade: moltissime ricerche di filosofia e storia delle scienze speciali non hanno alcun impatto sulle scienze di cui si occupano, sono pubblicate su riviste che gli scienziati non leggono, sono presentate in convegni autoreferenziali disertati dagli scienziati che pure hanno formulato le teorie di cui si discute.

Filosofo pure lui. Il fisico e premio Nobel statunitense Richard Feynman è stato critico riguardo alla filosofia, che però nei suoi testi di fisica è molto presente.

Cortesia U.S. Department of Energy

Più in generale, considerando pervasività e conseguenze della ricerca scientifica e tecnologica nelle società attuali, ha ancora senso fare filosofia teoretica, o morale, o bioetica, come se la scienza non esistesse? Spaccando il capello in quattro sempre sui soliti autori e sui soliti problemi? Proprio la necessità di spirito critico e la sensibilità storica richiamate da Radick ci dicono che la filosofia oggi ha la precisa responsabilità di aggiornarsi sulle frontiere del sapere scientifico. Nelle pieghe dei testi di Hawking e di Feynman, così pessimisti sulla filosofia, c'è un sacco di filosofia. Ma è compito dei filosofi tenersi al passo per dialogare con loro.

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

L’energia delle grandi scimmie

Ragioni e conseguenze del metabolismo energetico accelerato degli esseri umani

Tempo fa è comparso su «Nature» *on line* un articolo di Herman Pontzer del New York Consortium for Evolutionary Primatology e colleghi che è stato ripreso da diverse testate. Non c’è dubbio che, malgrado varie somiglianze, la nostra specie si differenzi dalle scimmie antropomorfe, che sono essenzialmente di quattro tipi: gorilla, orangutan, scimpanzé e bonobo. Abbiamo un’evoluzione culturale marcata e continua, un cervello più grande, parliamo, facciamo figli che crescono più lentamente e viviamo più a lungo. Come si sono originate queste differenze? E che base biologica hanno?

Sono domande interessanti che ci coinvolgono direttamente. Non è difficile ipotizzare che noi esseri umani consumiamo, anche in proporzione, più energia di loro nello stesso intervallo di tempo, ma occorreva dimostrarlo sperimentalmente ed è quello che hanno fatto gli autori. Lavorando con diversi individui e un certo numero di rappresentanti delle specie di scimmie antropomorfe elencate sopra, si è visto che la velocità con cui consumiamo energia è superiore del 27 per cento alla loro.

Siamo scimmioni che consumano molta energia e con maggiore prontezza. La prima conseguenza banale di questa osservazione è che abbiamo bisogno di molta più energia di riserva, quindi abbiamo in media più masse di grasso nel nostro corpo. Ma le caratteristiche più importanti sono la corporatura più robusta, o comunque più grande, e un gran cervello, che da solo consuma il 20 per cento dell’energia quotidiana. L’una cosa e l’altra ce le possiamo permettere grazie all’accelerato metabolismo energetico. Non c’è bisogno di spiegare, credo, il vantaggio di un cervello più grande, ma anche un corpo più grande ha i suoi vantaggi. Essere più grandi significa essere più forti e più veloci. Se a questo aggiungiamo il fatto di non avere il corpo coperto di peli, e quindi poter sudare in tutto il corpo, si capisce che siamo cacciatori molto resistenti nella corsa e quindi formidabili inseguitori.

Ci sono ancora almeno due aspetti da considerare, fondamentali per la nascita e per la morte. Cervello grande significa testa grande; al momento del parto, ciò comporta un notevole handicap. Mamme con un corpo più grande possono partorire bambini con una testa più grande. Ma ciò potrebbe non essere sufficiente se la natura non avesse avuto in serbo per noi un altro trucco. Non nasciamo con un cervello completamente sviluppato – sarebbe comunque troppo grosso – ma ancora largamente immaturo, che impiegherà qualche anno per maturare dopo la nascita. Questa nostra caratteristica allunga di molto l’infanzia e ha imposto la necessità di una lunga fase di nutrizione, protezione e insegnamento per i bambini piccoli da parte della famiglia. Questo ha finito per imporre un maggior livello di socializzazione ed è sostanzialmente alla base dell’enorme sviluppo della nostra evoluzione culturale.

Il nostro cervello, infatti, finisce di svilupparsi a occhi e orecchie aperti e raggiunta la maturità potrà avvalersi di questo periodo aggiuntivo di apprendimento. La nostra cultura, insomma, è anche figlia del nostro ritardo nel completare le strutture cerebrali, che «scolpiscono» in sé le loro prime nozioni. Essere più grandi significa anche vivere di più perché si osserva sempre una correlazione fra dimensioni corporee e durata media della vita, anche se non sappiamo dire perché.

Poiché osserviamo oggi tutte queste caratteristiche, ci riesce difficile capire nel tempo che cosa sarà arrivato prima e cosa sarà arrivato dopo, che cosa cioè è causa e che cosa effetto. Oppure può essere che tutto questo sia arrivato più o meno contemporaneamente, per una mutazione in un gene di alto livello gerarchico, che controlla per definizione un certo numero di caratteri biologici contemporaneamente: e noi siamo usciti «dotti» dal cervello di Giove, come Minerva.

Parente meno energivoro. Rispetto a scimmie antropomorfe come gli orangutan, gli esseri umani consumano energia a una velocità del 27 per cento superiore.

Anup Shah/Getty Images

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Il coefficiente di Gini

Analisi di un raffinato indicatore che rispecchia la distribuzione della ricchezza

Per introdurre il lavoro dello statistico italiano Corrado Gini, sul quale il mese scorso avevamo promesso di ritornare, ricordiamo che il 20 per cento più ricco della popolazione mondiale consuma l'80 per cento delle risorse del pianeta. Per esprimere in maniera più precisa e concreta la grave disuguaglianza esistente oggi nella distribuzione della ricchezza del mondo bisogna però usare informazioni più dettagliate: nel 1905 l'economista statunitense Max Lorenz propose quindi, in un articolo intitolato *Metodi per misurare la concentrazione della ricchezza*, di considerare quelle che oggi si chiamano appunto curve di Lorenz.

Si tratta delle curve che descrivono le percentuali crescenti della ricchezza possedute da percentuali crescenti della popolazione, partendo dal basso: cioè, da chi ne possiede di meno. Queste curve cominciano e finiscono sempre allo stesso modo, a causa del fatto che lo 0 per cento della popolazione possiede lo 0 per cento della ricchezza, e il 100 per cento ne possiede il 100 per cento. Per il resto, ciascuna curva differisce a seconda della regione geografica, del momento storico e del tipo di ricchezza considerata: per esempio, se il patrimonio o il reddito, e se al lordo o al netto dalle tasse.

A Madrid. La crisi economica recente ha accentuato le disuguaglianze esistenti nella distribuzione della ricchezza.

Ci sono due tipi estremi di curve di Lorenz. Nella direzione della completa uguaglianza, c'è la retta a 45 gradi che descrive la distribuzione uniforme della ricchezza: quella in cui non solo il 20 per cento della popolazione mondiale consuma il 20 per cento delle risorse, ma ogni percentuale della popolazione consuma la corrispondente percentuale di risorse. Nella direzione della completa disuguaglianza, invece, c'è la curva piatta in cui nessuno possiede niente, eccetto uno che possiede tutto e fa schizzare la curva al suo massimo nell'ultimo punto.

Le curve di Lorenz, che nel concreto si situano sempre fra questi due estremi, misurano nel dettaglio la concentrazione della ricchezza in una data situazione, ma lo fanno al prezzo di infinite informazioni: una per ciascun valore percentuale della popolazione. Nel 1912 Gini propose dunque, nell'articolo *Variabilità e mutabilità*, di estrarre da ciascuna curva di Lorenz un'unica informazione cumulativa, che oggi si chiama appunto coefficiente di Gini, e si ottiene misurando la percentuale dell'area compresa tra la curva data e quella a 45 gradi, rispetto all'area compresa tra quest'ultima e la curva piatta.

Poiché si tratta di una percentuale, il coefficiente di Gini è sempre un numero compreso fra 0 e 1, che si può riportare più comodamente a un numero fra 0 e 100 moltiplicandolo per 100, appunto. E poiché misura quanto la corrispondente curva di Lorenz si discosta dalla completa uguaglianza nella distribuzione della ricchezza, più è grande il coefficiente e maggiore sarà la disuguaglianza, e viceversa.

Il vantaggio del coefficiente di Gini è che rispecchia la distribuzione della ricchezza in maniera più raffinata di quanto non facciano indicatori più rozzi come il prodotto interno lordo di una nazione, che non dà nessuna informazione sulla distribuzione, o il reddito pro capite, che ne dà solo una rudimentale: quella statistica secondo cui, se una persona mangia un pollo e l'altra no, ne mangiano in media mezzo ciascuno.

Passando dalla teoria alla pratica, nel periodo tra il 1800 e il 2000 il coefficiente di Gini dell'intero mondo è salito da 43 a 71: dunque, negli ultimi due secoli l'incremento di ricchezza prodotto dalla rivoluzione industriale ha molto accresciuto il divario fra ricchi e poveri. Lo stesso effetto si è avuto negli Stati Uniti, dove il coefficiente è salito da 39 a 48 nel periodo tra il 1970 e il 2010, a causa del dimezzamento dell'aliquota massima delle tasse. In Italia, invece, l'aumento della pressione fiscale ha mantenuto nel periodo tra il 1980 e il 2005 il coefficiente del reddito netto quasi stabile, tra 31 e 34, mentre quello del reddito lordo saliva da 42 a 56: cioè, le alte tasse hanno agito da riequilibratore sociale della ricchezza.

In generale, i coefficienti di Gini permettono di classificare i vari Stati del mondo in ordine decrescente di democrazia distributiva. I coefficienti sono minimi nei paesi scandinavi e bassi in Europa, Canada e Australia. Crescono a valori medio-bassi in Russia, India e Giappone, e medio-alti in Stati Uniti, Messico e Cina. Arrivano a valori alti in Brasile, e massimi in Repubblica Centrafricana e Sudafrica. A conferma del fatto che ricchezza e giustizia sociale sono cose non solo ben diverse, ma anche ben quantificabili.

Gerard Julien/AFP/Getty Images

di Amedeo Balbi
Astrofisico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Ritratto di Proxima b

Tutto quello che sappiamo sull'esopianeta simile alla Terra più vicino a noi

Nel numero di marzo, avevo accennato all'inizio della campagna Pale Red Dot, lanciata da un gruppo di astronomi dell'European Southern Observatory per cercare un pianeta attorno alla stella più vicina al Sole, Proxima Centauri. Pochi mesi dopo, ci ritroviamo a commentare il successo dell'impresa, un successo andato oltre le aspettative più ottimistiche: non solo il pianeta c'è, ma ha una massa simile alla Terra (il valore minimo stimato è circa 1,3 volte quello terrestre) e orbita nella zona abitabile della stella. Insomma, adesso sappiamo che c'è un mondo alieno a due passi da casa, e che potrebbe persino essere adatto a ospitare la vita. Senza esagerare, è la scoperta più importante da quando, una ventina d'anni fa, è stato individuato il primo pianeta extrasolare.

Naturalmente, prima di correre con l'immaginazione bisogna chiarire che ciò che sappiamo di Proxima b (nome che, è prevedibile, sarà prima o poi sostituito da qualcosa di meno arido) è ancora troppo poco per farsi un'idea accurata di quali potrebbero essere le condizioni sulla sua superficie. I primi studi sull'abitabilità del pianeta ipotizzano qualche conclusione provvisoria, sulla base di modelli fisici che considerano molti dei fattori in gioco, in larga parte ancora ignoti.

Intanto, va tenuto presente che Proxima Centauri è diversa dal Sole: è una piccola e debole nana rossa, 700 volte meno luminosa della nostra stella. Così, Proxima b riceve più o meno la stessa energia dalla sua stella di quanta ne arriva sul nostro pianeta dal Sole, ma a prezzo di percorrere un'orbita molto stretta attorno a Proxima Centauri, compiendo un giro completo in poco più di 11 giorni.

La vicinanza con la stella influenza la rotazione del pianeta, ma non sappiamo come. Sono possibili due scenari: o Proxima b mostra sempre la stessa faccia alla stella (in modo che un emisfero è sempre illuminato e l'altro perennemente buio) oppure fa tre giri su se stesso ogni due orbite. In entrambi i casi, il clima del pianeta sarebbe molto diverso a seconda della composizione e della densità dell'atmosfera, che per ora non conosciamo. E se anche le condizioni fossero compatibili con la presenza di mari o laghi, non c'è garanzia che l'acqua sia mai arrivata sul pianeta e ci sia rimasta durante le fasi turbolente della sua formazione. C'è poi il fatto che le nane rosse come Proxima Centauri sono stelle assai meno tranquille della nostra, ed emettono grandi quantità di radiazioni energetiche. Questo potrebbe avere effetti sulla stabilità ambientale del pianeta, e risultare nocivo per la vita di superficie.

Insomma, c'è ancora tantissimo da capire. Ma è proprio questo il punto. La prospettiva entusiasmante che si apre con Proxima b è riuscire, per la prima volta, a caratterizzare l'ambiente di un mondo esterno al sistema solare. I 4,25 anni luce che ci separano da quel pianeta sono una distanza enorme in termini assoluti, ma irrisoria su scala cosmica. Per un astronomo, questo significa avere a portata di mano un obiettivo straordinariamente appetibile verso cui puntare i propri strumenti, ed è facile prevedere che, nei prossimi anni, Proxima b sarà studiato in ogni modo possibile. Nell'arco di appena un decennio, con la realizzazione dello European Extremely Large Telescope, potremmo persino catturare un'immagine diretta di Proxima b, e avere forti indizi sulla possibile presenza di organismi viventi. E addirittura le prospettive di una missione interstellare (ne parlavamo giusto a giugno, su queste pagine) diventano improvvisamente un po' meno fantascientifiche. Qualunque cosa scopriremo, avremo imparato tantissimo lungo la strada.

Siamo una specie che da sempre si interroga sulla propria solitudine cosmica: scoprire di avere un vicino di casa che, forse, ci somiglia un po', è stato un bel colpo di fortuna.

Superficie immaginaria. Illustrazione della superficie del pianeta extrasolare Proxima b in orbita attorno a Proxima Centauri, la stella più vicina al Sole.

Cortesia M. Kornmesser/ESO

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Il falso anello mancante

Il cranio dell'uomo di Piltdown è stato ritenuto autentico per quattro decenni

Come in ogni giallo che si rispetti, alla fine l'assassino è il maggiordomo. Elementare Watson!

Parliamo qui di un celebre «assassinio scientifico»: la frode di Piltdown. Venne perpetrata ai primi del Novecento, tra la località di Piltdown nel Sussex, in Inghilterra, e gli austeri ambienti accademici londinesi; gli stessi che una dozzina d'anni dopo non compresero e rigettarono la scoperta del primo australopiteco in Sudafrica.

Che quella di Piltdown fosse stata una frode scientifica lo si realizzò davvero soltanto quarant'anni dopo, nel 1953 (!), quando la natura ingannevole dei falsi reperti fossili venne smascherata con analisi puntuali ed efficaci. Oggi, a oltre cent'anni da allora, possiamo mettere alle strette il responsabile (probabilmente unico) di questa vicenda, grazie a due articoli pubblicati quest'anno sugli atti della Geologists' Association e su quelli della Royal Society. Il secondo lavoro, in particolare, è stato un'impresa collettiva, tecnicamente sofisticata (con approcci quantitativi alla morfologia, analisi di immagini tomografiche e stereomicroscopiche, datazioni assolute ed estrazioni di DNA), che era stata annunciata su «Nature» nel 2012 dall'autorevole firma di uno degli stessi ricercatori: Chris Stringer.

Ma vediamo prima i fatti di 100 anni fa. Nel dicembre 1912, il paleontologo Arthur Smith Woodward, curatore per la geologia al British Museum (Natural History), e un avvocato di provincia, ricercatore dilettante di fossili e altre antichità, Charles Dawson, annunciano al mondo la scoperta di un presunto antenato dell'uomo, da loro denominato *Eoanthropus dawsoni* (in onore dello scopritore dilettante), nel corso della riunione di fine anno della Geological Society a Londra, e lo descrivono l'anno dopo in un articolo di 35 pagine. Dunque, se i tedeschi e i francesi hanno da tempo i Neanderthal, se in Germania è stata ora (1907) rinvenuta una mandibola ben più antica, denominata *Homo heidelbergensis*, se gli olandesi hanno scoperto nell'isola di Giava una creatura ancora più arcaica, il *Pithecanthropus erectus* ... infine anche gli inglesi possono vantare un antenato; e forse è quello giusto: *Eoanthropus*.

Si trattava davvero di un «ottimo» anello mancante, corrispondente a certe attese ottocentesche. I resti scoperti (alcune porzioni di volta cranica e parte di una mandibola con un paio di denti) consentivano di descrivere una testa ampia e rotondeggiante, come la nostra, associata a una faccia scimmiesca. I resti del presunto antenato provenivano da un deposito di ghiaie con faune pleistoceniche e manufatti paleolitici di varia fattura, tanto da poter dedurre un'antichità assai remota, a cavallo fra Pliocene e Pleistocene. Altri reperti ancor più frammentari, ma significativi, vennero negli anni immediatamente successivi da un paio di località. Poi le scoperte cessarono con la morte di Dawson nel 1916.

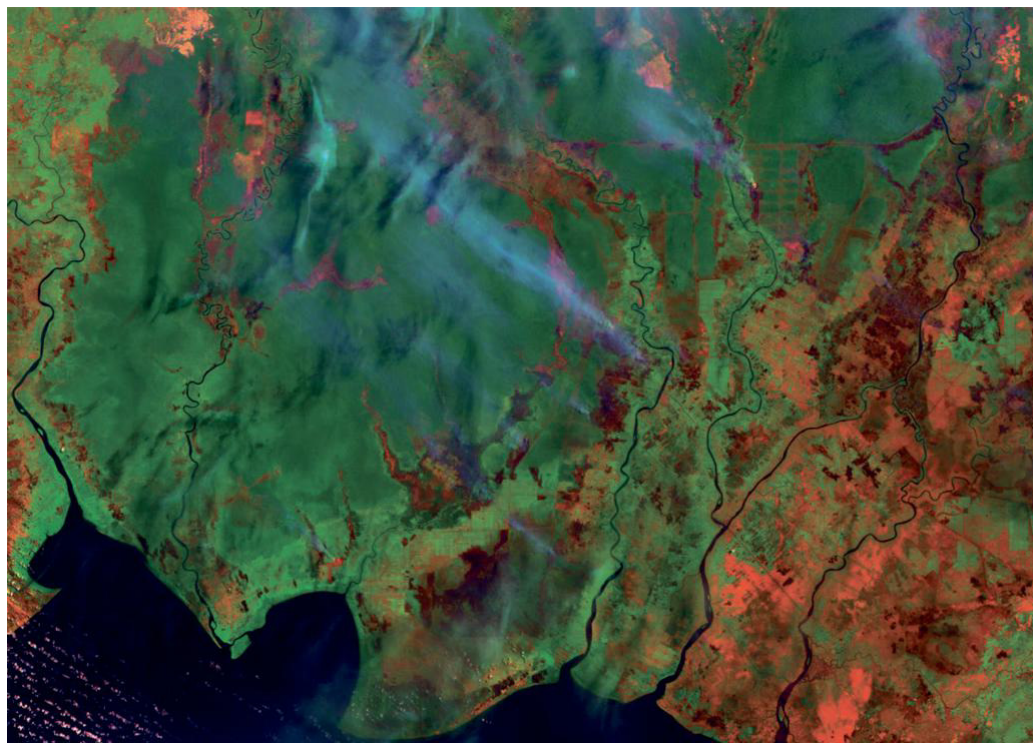
Da tempo sappiamo che i reperti appartenevano a un cranio umano e a una mandibola di orangutan, frammentati *ad hoc* e trattati per avere una patina simile alle faune e ai manufatti preistorici, in modo che tutto sembrasse provenire dagli stessi sedimenti e della medesima antichità. Dunque, un'abile frode, di cui sono stati incriminati vari e illustri personaggi. D'altra parte, ben prima del 1953, diverse critiche erano state sollevate e poi, soprattutto, *Eoanthropus* era dovuto uscire di scena quando altri reperti (come quelli di australopiteco) iniziavano a documentare una storia dell'evoluzione umana ben diversa da quella che Piltdown sembrava suggerire.

Oggi abbiamo nuovi e dettagliati elementi per descrivere le tecniche e la natura della frode e per poter dire che l'artefice fu una sola persona, con ogni probabilità l'oscuro avvocato di provincia, il ricercatore dilettante Charles Dawson: il maggiordomo, insomma.

Il segreto del successo della truffa dell'uomo di Piltdown fu la corrispondenza dei suoi tratti alle teorie dell'epoca. Sopra, una ricostruzione del cranio incriminato.

AMBIENTE

Pressione antropica con sorpresa

L'impatto umano sugli ecosistemi è cresciuto meno della popolazione mondiale

Dallo spazio. Una porzione merdionale dell'isola del Borneo, in Malaysia, vista dal satellite Proba-V dall'Agenzia spaziale europea. Si possono notare aree con foresta tropicale (*verde*) e aree deforestate (*rosso-marrone*), e pennacchi di fumo emessi da incendi appiccati per ripulire il terreno. Un esempio della crescita della pressione antropica rilevata tra il 1993 e il 2009 in molte, ma non tutte, delle aree del mondo.

Cortesia ESA/BELSPO 2015, prodotto da VITO

Terre coltivate che mangiano foreste, città che rosicchiano terreni, strade che frammentano habitat e dighe che deviano fiumi. Queste le immagini che ci vengono in mente quando pensiamo agli effetti delle attività umane sull'ambiente: un tema su ci sono novità, pubblicate in uno studio su «Nature Communications». Partiamo da quelle cattive: dal 1993 al 2009, la pressione antropica globale è salita del nove per cento. Tuttavia – ecco le buone notizie – questo incremento è minore di quello atteso guardando all'andamento demografico e allo sviluppo economico globali, che negli stessi anni sono cresciuti rispettivamente del 23 e del 153 per cento. «Significa che siamo diventati più bravi a sfruttare le risorse naturali», commenta Oscar Venter della University of Northern British Columbia, primo autore dello studio.

Per aggiornare la mappa globale (Antartide esclusa) della *human footprint* (l'impronta umana), i ricercatori hanno combinato dati e immagini satellitari di otto indicatori dell'alterazione delle risorse da parte dell'uomo: estensione di città, aree coltivate e pascoli; densità di popolazione; inquinamento luminoso; presenza di strade, ferrovie e corsi d'acqua navigabili.

L'aumento della pressione antropica è assoluto, ma non omogeneo. In 16 anni, il 71 per cento delle ecoregioni del mondo ha visto crescere l'impatto umano di oltre il 20 per cento (soprattutto le aree tropicali del Sudest asiatico e il Brasile orientale) mentre un tre per cento può festeggiare una diminuzione altrettanto forte della pressione antropica (particolarmente le zone temperate dell'Europa occidentale e del Nord America). Questo diffuso processo di deterioramento ambientale, che i ricercatori attribuiscono principalmente all'agricoltura (la vocazione agricola del suolo è responsabile del 93,8 per cento della variazione nei valori medi dell'impronta umana), ha conseguenze drammatiche sulla biodiversità, tanto che il 97 per cento delle aree con più ricchezza di specie sono oggi seriamente compromesse.

Venendo alle notizie incoraggianti, il fatto che i danni causati dall'uomo crescano più lentamente della popolazione e della ricchezza globali significa che uno sviluppo sostenibile è possibile. La lezione virtuosa arriva da alcuni dei paesi più ricchi, quelli dove la lotta alla corruzione ha permesso di contenere la pressione antropica senza deprimere il prodotto interno lordo (i ricercatori hanno incluso nell'analisi anche le importazioni, escludendo che questi paesi concilino benessere e ambientalismo «delegando» a terzi lo sfruttamento delle risorse). Come dire: le tecnologie per usare al meglio le risorse ci sono, basta non sacrificarle alla logica del profitto.

Martina Saporiti

FISICA

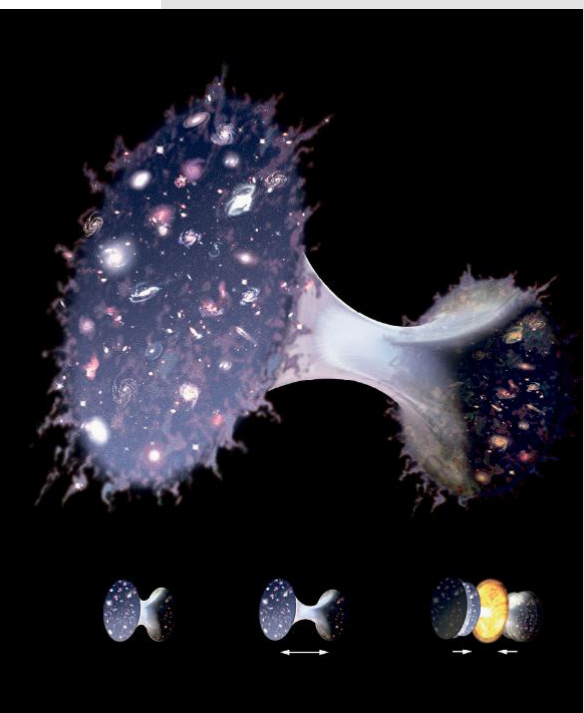
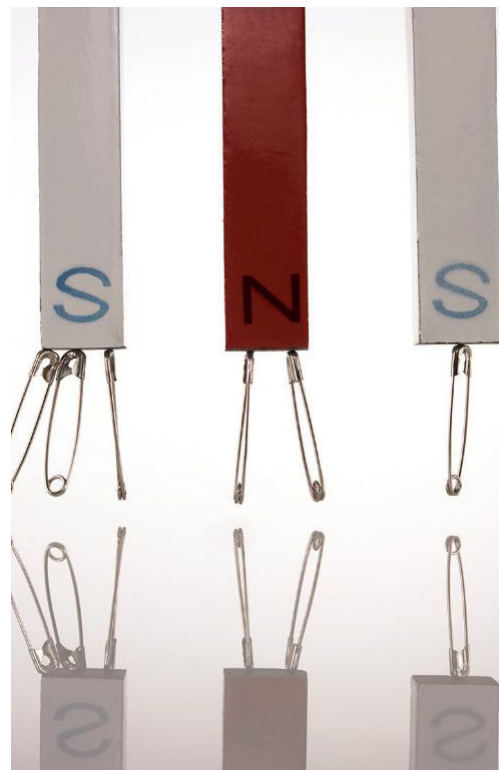
A caccia di monopoli magnetici

Un esperimento al CERN ha posto nuovi limiti sulla massa di queste ipotetiche particelle

Fra le particelle di cui i fisici vanno alla ricerca al Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra ci sono anche i monopoli magnetici, ipotetiche particelle con un solo polo magnetico. Anche se fino a oggi non sono mai stati osservate, queste particelle potrebbero emergere fra i prodotti delle collisioni ad alta energia protone-protone. Tuttavia, la collaborazione di fisici che lavora all'esperimento MoEDAL (Monopole & Exotics Detector at the LHC), un rivelatore specificamente progettato per individuare l'eventuale passaggio di monopoli magnetici, caratterizzati da un elevato potere ionizzante, ha appena annunciato sul «Journal of High Energy Physics» (JHEP) di aver posto nuovi limiti alla loro massa.

La teoria classica dell'elettromagnetismo, descritta dalle equazioni di Maxwell, non prevede l'esistenza di cariche magnetiche isolate. L'esperienza in effetti ci insegna che i magneti hanno sempre due polarità, nord e sud, che non possono essere separate, nemmeno dividendo in più parti un magnete. Il risultato sono magneti più piccoli, ma ciascuno sempre dotato dei due poli nord e sud. Tuttavia, fin dal 1931, ovvero da quando il fisico Paul Dirac ne teorizzò l'esistenza in connessione con la quantizzazione della carica elettrica (tre anni prima lo stesso Dirac aveva ipotizzato l'esistenza dell'antimateria), generazioni di fisici si sono affannate nella ricerca dei monopoli magnetici. In modo simile alle particelle dotate di carica elettrica, che possono essere positive o negative, i monopoli magnetici sarebbero particelle con il solo polo nord o con il solo polo sud. Il moto di un monopolo magnetico immerso in un campo magnetico sarebbe quindi analogo a quello di una particella elettricamente carica in un campo elettrico.

Secondo i risultati prodotti da un prototipo del rivelatore, i monopoli magnetici hanno una massa compresa fra 100 GeV e 3500 GeV (1 GeV è un gigaelettronvolt, circa la massa di un protone). Ma i fisici della collaborazione stanno già elaborando i dati prodotti dal rivelatore definitivo. La speranza è di aprire la strada a una nuova fisica con la scoperta dei monopoli magnetici.

Emiliano Ricci

Un grande rimbalzo prima del big bang

L'universo potrebbe non aver avuto origine dal big bang, ma potrebbe essere il risultato di un *big bounce*, un grande rimbalzo. A riportare agli onori della cronaca la teoria cosmologica di un universo preesistente in contrazione, dalla cui implosione (*big crunch*) sarebbe poi nato l'universo attuale, sono i ricercatori Steffen Gielen, dell'Imperial College London, e Neil Turok, del Perimeter Institute for Theoretical Physics di Waterloo, in Canada. Il problema più difficile da affrontare per i sostenitori del «grande rimbalzo» è il momento di passaggio dall'universo in contrazione a quello in espansione. In termini matematici, questo istante è una «singolarità»: l'universo dovrebbe attraversare una fase a densità infinita, un punto in cui è concentrata tutta la materia-energia dell'universo imploso, trovandosi così in una condizione fisicamente impossibile. Ma ora Gielen e Turok, dalle pagine di «Physical Review Letters», annunciano di aver risolto la questione. Secondo i loro calcoli, si può passare dall'universo in contrazione a quello in espansione evitando la singolarità.

Alla base del loro modello c'è una teoria della cosmologia quantistica, che, seppure ancora incompleta, è stata efficace nel risolvere la sfida posta dai due autori. Le teorie di cosmologia quantistica sono il tentativo di descrivere gli effetti della meccanica quantistica su origine e prime fasi evolutive dell'universo, la cui geometria è descritta dalla teoria generale della relatività. Nel loro modello, i ricercatori hanno anche introdotto l'ipotesi che nel cosmo primordiale la materia si comportasse come la radiazione, cioè che le leggi fisiche usate per descriverne il comportamento fossero indipendenti dalla scala, come appunto accade per la radiazione, il cui comportamento è indipendente dalla lunghezza d'onda. Grazie a queste tecniche, Gielen e Turok hanno scoperto che l'universo può saltare da uno stato immediatamente precedente alla singolarità a uno immediatamente successivo, evitando il punto critico. Ma non sarà facile convincere i sostenitori del modello standard del big bang.

Emiliano Ricci

Yamada Taro/Getty Images (*magneti*); Mikkel Juul Jensen/SPL/Contrasto (*big bounce*)

ROBOTICA

Pesci robot a guardia della salute del mare

Piccoli automi a forma di pesce in futuro potrebbero monitorare i parametri ambientali

È da tempo ormai che i robot hanno imparato a muoversi in ogni tipo di ambiente, che sia terrestre, marino o aereo. Il fatto quindi che un gruppo di ricercatori italiani e spagnoli abbia messo a punto un robot-pesce per sorvegliare gli allevamenti di pesci e crostacei non parrebbe una grossa novità, se non fosse per l'innovativo modo con cui questi robot riescono a orientarsi e muoversi in maniera autonoma.

Il gruppo del Dipartimento di chimica dell'Università di Firenze, che ha collaborato al progetto insieme a scienziati del Centro di automazione e robotica dell'Università di Madrid, ha infatti messo a punto speciali sensori composti da uno strato di grafite ricoperti da uno strato di polianilina, depositato con un processo elettrochimico. La polianilina è un materiale polimerico a basso costo e inoltre ha interessanti proprietà chimiche. In particolare, è in grado di modificare le proprietà elettrochimiche a seconda della concentrazione di ioni idrogeno, cioè del pH, dell'ambiente in cui si trova.

I ricercatori fiorentini sono riusciti a creare un dispositivo in grado di trasformare le variazioni di pH rilevate dal sensore in impulsi elettromeccanici che guidano il movimento del pesce-robot. In altre parole, il dispositivo è in grado di individuare, in un volume d'acqua, le zone con un pH anomalo, troppo elevato. Un'informazione importante negli impianti di acquacoltura, dove si allevano pesci, crostacei e molluschi e dove la concentrazione di esemplari rischia di deteriorare l'ambiente e di provocare morie o malattie. Lo studio è in via di pubblicazione su «Sensors and Actuators B: Chemicals».

Il robot-pesce è stato realizzato con una speciale lega a memoria di forma, usata per costruire gli attuatori, cioè i dispositivi che imprimono il movimento. Sei attuatori di questo tipo sono in grado di far spostare il pesce artificiale senza bisogno di motori veri e propri, garantendo quindi al dispositivo un'autonomia pressoché totale.

Negli esperimenti, i pesci robotici così concepiti si sono comportati in modo eccellente. Ora l'idea è trasferire i concetti testati in veri e propri prodotti, da liberare negli allevamenti. Nel caso di variazioni anomale del pH dell'acqua di mare, i pesci robotici andrebbero a concentrarsi nelle zone interessante, consentendo agli allevatori di prendere le adeguate misure.

Riccardo Oldani

Il DNA fa i compiti di matematica

Il gruppo di John Reif, della Duke University, ha preso filamenti di DNA, li ha messi in un contenitore e ha dimostrato che nelle giuste condizioni e concentrazioni, i filamenti formavano un circuito in grado di eseguire sottrazioni, somme e moltiplicazioni. La differenza con altri circuiti basati sul DNA già studiati è che mentre quelli di precedenti ricerche erano di tipo digitale, cioè l'informazione era codificata in sequenze di 1 e 0, quello ora proposto è analogico.
La ricerca, pubblicata su «ACS Synthetic Biology», mostra che sfruttando la naturale capacità del DNA di aprirsi e chiudersi come una cerniera, si possono innescare reazioni «domino» in cui i filamenti si inseriscono fra altri doppi filamenti, dividendosi e ricostituendosi. I calcoli sono eseguiti misurando ile concentrazioni delle molecole, cioè in modalità analogica.
Il problema di questi circuiti è che sono molto lenti: eseguire un calcolo può richiedere ore. Tuttavia, il fatto che sono piccolissimi e possono lavorare in ambiente umido li rende appetibili per microcomputer che lavorino nel flusso sanguigno o all'interno di una cellula, anche se, come chiariscono gli autori, le applicazioni commerciali sono ancora lontane. Reif e colleghi ora stanno lavorando su nuovi circuiti in grado di eseguire calcoli più complessi come esponenziali e logaritmi.

Federica Sgorbissa

CLIMA

Case bianche contro il caldo

Stimato l'impatto climatico a livello continentale e globale dell'uso di vernici chiare e riflettenti

La vivibilità di una casa nel caldo clima mediterraneo dipende molto dai materiali usati per la costruzione, soprattutto del tetto. Riprendendo idealmente le idee che hanno portato all'edificazione delle bianche città del nostro sud e di altri paesi del Mediterraneo, oggi un movimento architettonico-ambientale mira alla costruzione di *cool roofs*, letteralmente «tetti freschi». Questi tetti, mediante speciali vernici chiare riflettenti e ad alta emittenza termica, permettono di trasmettere meno calore all'interno dell'abitazione e allo stesso tempo permettono di raffreddare anche l'aria esterna. Un vantaggio per le persone che si trovano in casa e per quelle che percorrono le vie cittadine. Ma ci sarà un vantaggio anche per il clima globale?

Già parecchi ricercatori si sono posti questa domanda, giungendo a risultati contrastanti. Ora Jiachen Zhang, dell'University of Southern California e collaboratori hanno affrontato il problema mediante un sofisticato modello che permette di collegare quello accade a livello cittadino con quello che avviene a scala continentale e mondiale. Nel loro esperimento modellistico, pubblicato di recente su «Environmental Research Letters», gli autori ipotizzano l'applicazione di cool roofs che permettano di aumentare del 75 per cento l'energia solare riflessa all'indietro. A livello cittadino questo permette mediamente di diminuire la cosiddetta isola di calore urbana (differenza tra la temperatura dell'aria in città e nelle campagne circostanti) di valori che vanno da 1,2 a 1,6 °C. Si vede però che le impurità dovute all'inquinamento portano in alcuni casi a diminuire i vantaggi, poiché intercettano la radiazione riflessa, con valori del 4 per cento negli Stati Uniti e del 18 per cento nella più inquinata Cina. A livello continentale si nota ancora un effetto di mitigazione della temperatura, anche se minore: circa -0,1 °C. A scala globale, la temperatura non cambia significativamente.

Insomma, questo studio ci dice che l'adozione di cool roofs, specie alle medie e basse latitudini, è un'operazione che probabilmente non cambia le cose a livello climatico globale, ma permette di vivere più agevolmente, e con minori spese di condizionamento, in casa e in città.

Antonello Pasini

Venere abitabile in un lontano passato

La Terra potrebbe non essere stata il primo pianeta abitabile del sistema solare, ma potrebbe essere stata preceduta da Venere. A sostenerlo, in un articolo pubblicato su «Geophysical Research Letters», è un gruppo guidato da Michael Way, del Goddard Institute for Space Studies della NASA.
I ricercatori hanno impiegato per la prima volta un modello tridimensionale dell'atmosfera venusiana, in modo da valutare le variazioni climatiche del pianeta, tenendo conto della sua topografia rilevata tra il 1990 e il 1994 dalla sonda Magellan della NASA.
Partendo dall'ipotesi, considerata plausibile dai ricercatori, che 2,9 miliardi di anni fa Venere avesse un oceano non molto profondo, gli stessi parametri orbitali di adesso e una luminosità del Sole minore di quella attuale, l'atmosfera primordiale del pianeta avrebbe garantito temperature superficiali tali da conservare l'oceano di acqua allo stato liquido per almeno due miliardi di anni, anche in seguito all'aumento di luminosità del Sole. Way e colleghi hanno anche scoperto che queste condizioni dipendono da topografia e velocità di rotazione del pianeta. Inoltre hanno introdotto l'importanza del fattore tempo nell'abitabilità di un pianeta. Elementi che dovranno essere considerati nello studio degli esopianeti.

Emiliano Ricci

GENETICA

Riscrivere il codice genetico

Un nuovo passo avanti della biologia sintetica verso la realizzazione di organismi artificiali

George Church, genetista ad Harvard e figura di punta della biologia sintetica, fa un altro passo verso organismi disegnati a tavolino: ha progettato, e sta realizzando, batteri con un codice genetico diverso da quello standard.

Un gene contiene una successione di sequenze di tre basi, dette codoni, ciascuna delle quali indica un determinato aminoacido da inserire nella proteina. Poiché gli amminoacidi nelle proteine sono 20, e i codoni possibili 64, molti amminoacidi sono designati da più codoni diversi. È quindi teoricamente possibile eliminare del tutto un codone da un genoma e sostituirlo con un altro che indichi lo stesso amminoacido, senza alterare le proteine prodotte.

La cosa era già stata fatta con un solo codone, che segnala la fine della sintesi proteica. Church presenta ora su «Science» una variante di *Escherichia coli* privata di 7 codoni, per vari amminoacidi. Modificare a uno a uno migliaia di codoni in un genoma va oltre le capacità delle tecnologie odierne, perciò Church segue un'altra strada: sta sintetizzando *in vitro* vari spezzoni del genoma modificato e li sta saggiando *in vivo* per verificare che funzionino (anche se non cambia la proteina prodotta, la modifica può comunque disturbare i macchinari cellulari che la sintetizzano o causare altri intoppi).

Per ora è stato verificato il 60 per cento del genoma modificato, ma il completamento dell'opera potrebbe richiedere ancora anni. A quel punto i macchinari molecolari che leggono i codoni rimossi potrebbero essere anch'essi eliminati, o riconvertiti perché inseriscano amminoacidi diversi dai 20 ordinari, producendo proteine inedite. Questi batteri ricodificati sarebbero ideali per produrre farmaci o altri composti industriali poiché sarebbero immuni ai virus, dato che i geni virali sarebbero letti in modo errato.

Resta il nodo della sicurezza in caso di fughe nell'ambiente. Misure di salvaguardia sono già allo studio, per esempio rendendo i batteri dipendenti da un nutriente inesistente in natura, ma sperimentazioni e dibattiti sono soltanto agli inizi.

Giovanni Sabato

L'origine della vita e il «mondo a RNA»

Si rafforza la tesi che la vita primordiale si sia evoluta attraverso un «mondo a RNA», in cui l'RNA faceva sia da depositario dell'informazione genetica sia da catalizzatore delle reazioni biochimiche, ruoli che nelle cellule odierne sono tipici rispettivamente del DNA e delle proteine. L'idea ha iniziato ad affermarsi alcuni decenni fa, quando si è scoperto che alcuni RNA possono fungere anche da enzimi (prendendo il nome di ribozimi), promuovendo fra l'altro la sintesi di altre sequenze di RNA.

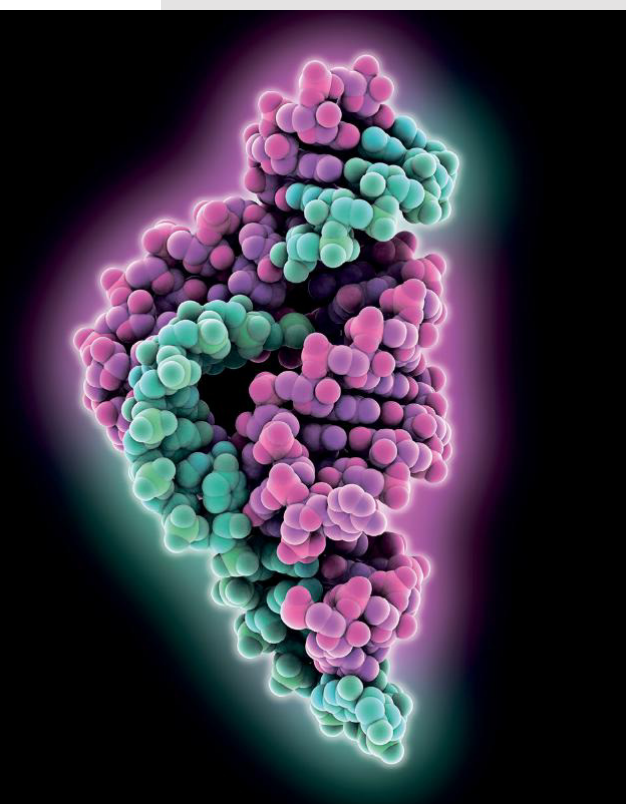
Ma i ribozimi finora noti avevano capacità molto limitate perché potevano assemblare solo poche, specifiche sequenze di RNA. David Horning e Gerald Joyce, chimici allo Scripps Research Institute di La Jolla, in California, presentano ora sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» il primo ribozima capace di sintetizzare, a partire dai rispettivi RNA stampo, quasi ogni altro tipo di RNA, senza particolari limitazioni e senza l'ausilio di alcuna proteina. Questo ribozima può inoltre replicare ripetutamente brevi sequenze di RNA, moltiplicandole fino a 40.000 volte in 24 ore.

Il ribozima è stato ottenuto con la cosiddetta evoluzione molecolare: partendo da un RNA con limitate attività di sintesi, gli studiosi hanno introdotto mutazioni a caso e selezionato le varianti che, messe alla prova in vitro, mostravano capacità migliori. Ripetendo il ciclo per una ventina di volte, Horning e Joyce hanno infine ricavato il ribozima ad ampio spettro d'azione.

Il loro prodotto ha ancora un grosso limite: non può replicare se stesso, una capacità cruciale per sostenere la vita. Ricavare un ribozima che sia anche autoreplicante è quindi il prossimo obiettivo dei due studiosi. In ogni caso, il risultato è una prima prova di principio che un mondo a RNA è concepibile.

Inoltre, se davvero si arriverà a un ribozima capace di autoreplicarsi, si aprirà una possibilità nuova per la biologia sintetica: costruire microrganismi che usino l'RNA come solo materiale genetico, capaci di sopravvivere ed evolversi.

Giovanni Sabato

Sanford/Agliolo/Getty Images (*provetta*); Laguna Design/Getty Images (*ribozima*)

EVOLUZIONE

Scacco matto al Re Rosso

Le specie mutualistiche hanno un tasso di evoluzione molecolare più elevato delle generaliste

L'ipotesi evoluzionistica della Regina Rossa, così chiamata in omaggio all'omonima antagonista di Alice nel romanzo di Lewis Carroll *Attraverso lo specchio*, sancisce che «Bisogna correre per rimanere nello stesso posto». Il concetto esemplifica ciò che si osserva in natura nelle specie in diretta competizione: lo sviluppo di un carattere più vantaggioso nella prima costringe la seconda a fare altrettanto. Nonostante la rapida *escalation* evolutiva, l'equilibrio tra i contendenti è rispettato attraverso oscillazioni più o meno ampie delle popolazioni.

La validità dell'ipotesi per le specie mutualistiche, che traggono vantaggio dalla rispettiva interazione, è però controversa, perché entrambe le parti hanno interesse nella stabilità del rapporto. Il biologo Benjamin Rubin, dell'Università di Chicago, ha pubblicato su «Nature» insieme alla collega Corrie Moreau, del Museo di storia naturale di Chicago, uno studio che confuta la teoria, attualmente accettata, del Re Rosso, secondo cui le specie mutualistiche evolvono a un ritmo più lento per non interrompere il proprio rapporto. Analisi di genomica comparata sulle formiche del genere *Pseudomyrmex*, che comprende sia specie mutualistiche – come la celebre *P. ferrugineus* che difende *Acacia cornigera* dagli attacchi di insetti fitofagi e piante epifite ricavando a sua volta nutrimento – sia specie generaliste, hanno infatti evidenziato che le prime hanno un tasso di evoluzione molecolare più elevato.

I geni più interessati dalla pressione evolutiva sono risultati quelli correlati alla neurogenesi e all'attività muscolare, un dettaglio che suggerisce agli autori l'esistenza di un processo autoalimentato nel quale l'interazione spinge il sistema nervoso delle formiche a evolvere ulteriori adattamenti mutualistici. Al pari della competizione, il mutualismo è infatti un rapporto costoso che può svilupparsi in parassitismo. La pressione selettiva è incessante perché, se in un dato momento il mutualismo cessa di essere vantaggioso per la specie, i tratti favorevoli a promuoverlo non saranno più premiati.

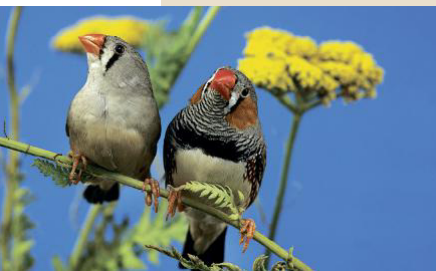
Davide Michielin

Una simbiosi non è per sempre

La simbiosi mutualistica è una relazione tra due specie da cui entrambe traggono vantaggio. In natura ce ne sono molti esempi: tra l'anemone di mare e il pesce pagliaccio, tra i funghi e le radici delle piante nelle micorrize e perfino tra noi e i batteri del nostro intestino. Più che utili, queste relazioni sono necessarie alla sopravvivenza dei due simbionti. Tuttavia, una ricerca pubblicata su «PLoS Biology» da scienziati del MIT dimostra che questi sodalizi non sono sempre scolpiti nella pietra. In particolari condizioni, come l'abbondanza di cibo, la relazione può degenerare da mutualistica a competitiva, e in casi estremi una specie può portare l'altra all'estinzione.
È il caso di due lieviti oggetto dello studio, che normalmente convivono producendo ciascuno un amminoacido indispensabile all'altro. I ricercatori hanno fornito quantità crescenti di sostanze nutritive e osservato i cambiamenti nella crescita delle popolazioni dei lieviti, tenute isolate o coltivate insieme. Hanno visto così che in condizioni di penuria di cibo entrambi i ceppi erano costretti a convivere per sopravvivere. Una piccola quantità extra di nutrienti trasformava invece il mutualismo da obbligato a facoltativo, in cui i lieviti prosperavano meglio insieme che da soli. Un'ulteriore aggiunta di cibo decretava la fine della simbiosi, con un tipo di lievito che inevitabilmente finiva per prevalere sull'altro fino a provocarne l'estinzione.
Gli scienziati hanno persino messo a punto un modello per predire in che tipo di rapporto simbiotico si trovano i lieviti – mutualismo, competizione, parassitismo, esclusione competitiva – in base agli equilibri fra le due popolazioni. Questa transizione nel grado di codipendenza non vale per tutte le simbiosi: in questo caso i lieviti erano geneticamente molto simili e necessitavano degli stessi nutrienti. Tra specie molto diverse, e con diverse esigenze, la rottura del sodalizio sarebbe improbabile.

Eugenio Melotti

Gregory MD./Getty Images (*formica*); Reinhard Dirscher/Getty Images (*pesci*)

Quando gli uccelli cantano alle uova

Studiando i richiami parentali che i diamanti mandarino (*Taeniopygia guttata*) si scambiano durante la cura delle uova, Mylene Mariette, ricercatrice della Deakin University, ha sentito qualcosa di insolito. Note acute e ritmate che i genitori rivolgevano alle uova solo se le temperature superavano i 26 gradi. I cosiddetti *incubation call*, o canti di incubazione, degli uccelli sono rari e misteriosi, e nello studio pubblicato su «Science» Mariette e la collega Katherine Bucnan ne ipotizzano un significato adattativo: preparerebbero gli embrioni ad affrontare il caldo.
Le ricercatrici hanno prelevato uova di diamanti mandarino e, nei cinque giorni precedenti alla nascita (quando gli embrioni possono sentire suoni), hanno «suonato» loro richiami parentali o canti da incubazione. Dopo la schiusa hanno seguito lo sviluppo di 175 pulcini osservando che i nati dalle uova stimolate con gli incubation call crescevano meno, forse una risposta ormonale innescata dal cervello degli embrioni sollecitati dai richiami d'incubazione. Poiché in natura ciò accade se le temperature salgono, ecco spiegato il nesso: essere più piccoli, quando fa caldo, è vantaggioso perché aiuta a dissipare il calore e limita lo stress ossidativo delle cellule. **(MaSa)**

L'enzima che catalizza la reazione che non c'è

Ricercatori delle Università di Basilea e Zurigo, in collaborazione con il Polo di ricerca nazionale elvetico, hanno annunciato su «Nature» lo sviluppo di un enzima artificiale che catalizza una reazione assente in natura. L'enzima, chiamato Biot-Ru-SAV, include un complesso organometallico; questi composti, comunemente usati come catalizzatori in chimica industriale, fanno da «ponte» tra la chimica organica e quella inorganica, essendo caratterizzati da almeno un legame tra un atomo di carbonio e un metallo.

In soluzioni acquose come l'ambiente cellulare, i catalizzatori organometallici hanno tuttavia uno scarso rendimento. Per superare l'ostacolo gli autori hanno inserito un composto a base di rutenio in un'impalcatura organica, ricorrendo al metodo basato sull'elevata affinità tra la streptavidina, una proteina di origine fungina, e la biotina, una piccola molecola che può essere coniugata ad altri composti senza alterarne l'attività.

Inserito tra la membrana cellulare e quella esterna di *Escherichia coli*, Biot-Ru-SAV è risultato capace di catalizzare la metatesi delle olefine, un processo sfruttato nelle raffinerie per produrre propilene, a sua volta impiegato in numerose reazioni di sintesi. Il processo, assente in natura, rappresenta una via metabolica inedita all'interno delle cellule viventi. **(DaMi)**

Addormentati in volo

Alcuni uccelli riescono a volare per settimane senza fermarsi e, apparentemente, senza mai riposarsi. Com'è possibile? La risposta arriva da un gruppo di ricercatori guidato da Alexei Vyssotski del Politecnico di Zurigo, che ha monitorato il volo ininterrotto di 14 fregate sull'Oceano Pacifico. I risultati, apparsi su «Nature Communications», hanno dimostrato che gli uccelli non solo riescono a riposare durante il volo, ma possono addirittura dormire per brevi periodi, con uno o entrambi gli emisferi cerebrali.

In particolare le fregate osservate, la cui rotta è stata tracciata con GPS e l'attività cerebrale registrata con EEG, grazie alla capacità di dormire in volo sono riuscite a percorrere 3000 chilometri in dieci giorni senza mai fermarsi. E nonostante il calo di tono muscolare (tipico della fase del sonno REM) abbia inevitabilmente fatto perdere quota agli uccelli mentre dormivano, non ha in alcun modo influenzato la loro traiettoria di volo. **(MaMa)**

Come la gratificazione migliora le difese immunitarie

Da una ricerca del Technion Israel Institute of Technology arriva la conferma che le difese immunitarie dell'organismo sono influenzate, e potenziate, dai centri cerebrali della ricompensa. Stimoli gratificanti, aspettative personali e il solo «pensare positivo», infatti, sembrano avere un ruolo nel proteggerci dall'aggressione di patogeni di vario tipo. Per dimostrarlo, l'esperimento descritto sulle pagine di «Nature Medicine» ha aumentato la produzione di dopamina nel cervello di alcuni roditori stimolando la loro area ventrale tegmentale (VTA). La dopamina è un neurotrasmettitore coinvolto nei circuiti di motivazione e ricompensa e non ha un'azione diretta sul sistema immunitario, ma un aumento della sua disponibilità cerebrale ha consentito ai topi di rispondere a un'infezione da batterio *E.coli* in maniera più rapida ed efficace rispetto al gruppo di controllo.
Gli autori hanno scoperto che questo processo, probabilmente alla base dell'effetto placebo, potrebbe essere mediato dal sistema nervoso simpatico: una sua inattivazione, infatti, nonostante la stimolazione della VTA, comporta un blocco del potenziamento delle difese immunitarie. Il passo successivo sarà verificare se stimoli gratificanti naturali, come sesso e cibo, possono influire sui livelli di difesa dell'organismo, e se altri patogeni non batterici, come i virus, attivano lo stesso meccanismo. **(MaMa)**

Gerard Lacz/Visuals Unlimited, Inc./Getty Images (*diamantini*); Danita Delimont/Getty Images (*fregata*); UpperCut Images/Getty Images (*premio*)

Uomini e cannabis

Mentre in molte parti del mondo si discute se legalizzare la vendita dei derivati della cannabis, gli antropologi Tengwen Long e Pavel Tarasov, della Libera Università di Berlino, hanno fatto luce sul lungo intreccio fra la storia di questa pianta e la nostra, riassumendo su «Vegetation History and Archaeobotany» i risultati di molti studi archeologici. La cannabis è originaria dell'Asia centrale, ma già intorno a 11.000 anni fa la si ritrova in siti abitati dall'uomo fra l'Europa orientale e il Giappone.

E non era usata solo per farne corde o tessuti: semi bruciati nei focolari indicano che serviva anche come sostanza psicoattiva. L'uso diventò poi raro in Asia orientale per 5000 anni ma intorno al 3000 a.C. qualcuno la reintrodusse, insieme al grano, in quelle aree. A diffondere le due piante furono gli Yamnaya, il popolo delle steppe che addomesticò il cavallo e, forse, usò semi e derivati della cannabis come prima merce vegetale commerciabile su lunghe distanze. (AlSa)

Cellule senzienti che ricordano gli stimoli

Ricercatori del MIT di Boston hanno annunciato su «Science» la creazione in laboratorio di cellule di *Escherichia coli* programmate per ricordare e rispondere a una serie di eventi. I circuiti cellulari si basano su enzimi chiamati ricombinasi; attivate da uno specifico stimolo, come per esempio un segnale chimico, le ricombinasi agiscono sul tratto di DNA compreso tra due siti di legame specifici. L'orientamento delle sequenze bersaglio guida l'enzima a rimuovere o invertire il segmento di DNA che a sua volta può contenere i siti di legame per un'altra ricombinasi.

Tramite questa serie di interruttori, i ricercatori hanno regolato l'attività genica delle cellule osservandone l'esito mediante l'accensione di geni che codificano proteine fluorescenti. Sequenziando e quindi confrontando il codice genetico con quello originario, sono infine risaliti alla serie di avvenimenti cellulari basandosi sugli eventi di rimozione e inversione.

Al momento le cellule ingegnerizzate sono programmate per rispondere e ricordare solo tre differenti stimoli, ma in futuro saranno più numerosi. Nelle intenzioni degli autori, questa tecnica permetterà di guidare la differenziazione delle staminali, monitorare la progressione delle neoplasie e sviluppare sensori ambientali formati da cellule. (DaMi)

C'è una pinna in ogni mano

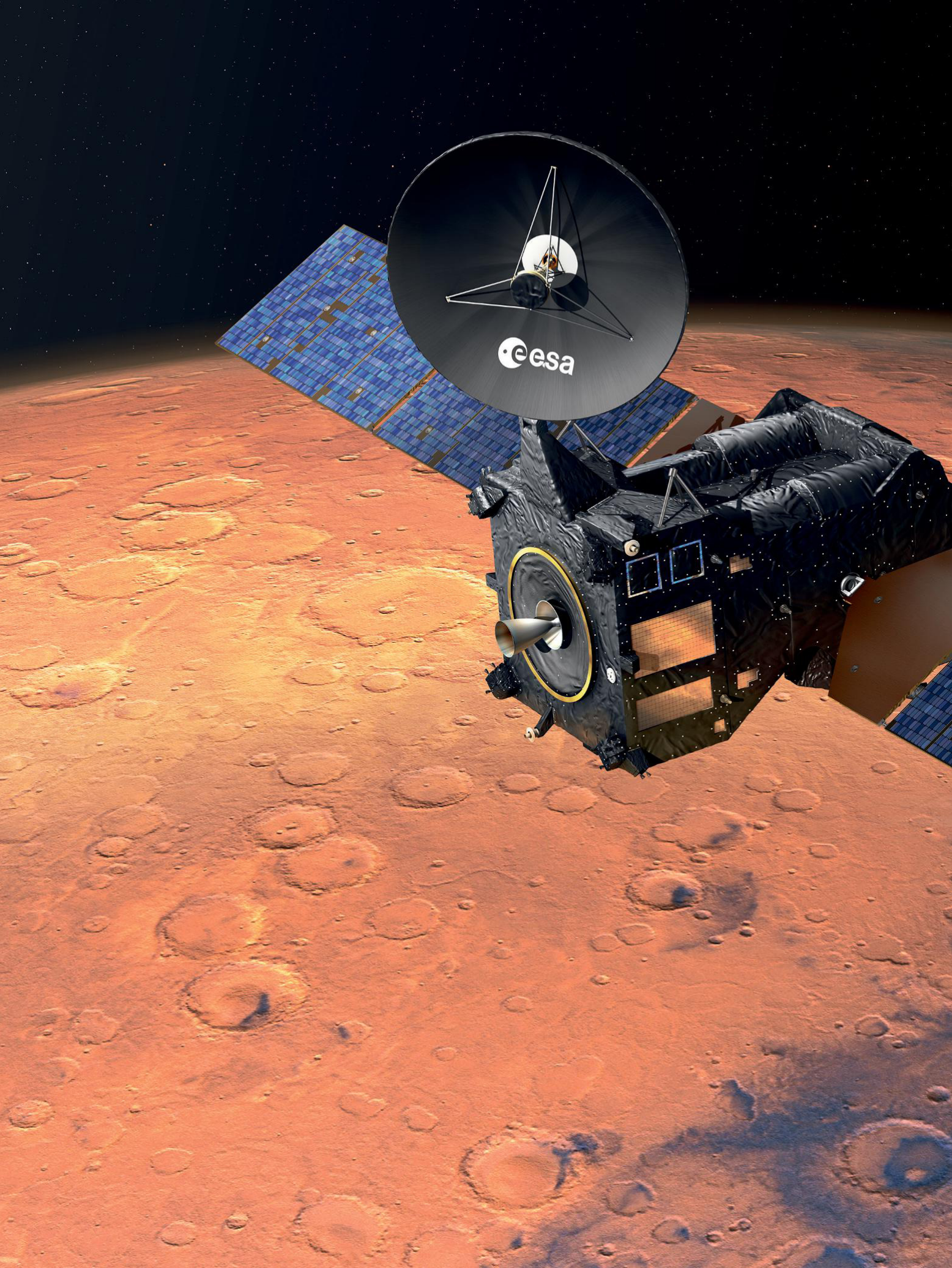
Così lontane così vicine.
Una mano e una pinna non potrebbero essere più diverse, eppure hanno un'origine evolutiva comune, stando allo risultati di uno studio pubblicato su «Nature» da ricercatori dell'Università di Chicago. I fossili ci dicono che vertebrati e pesci ossei condividono un antenato vissuto circa 430 milioni di anni fa, ma di questa parentela non c'è traccia nell'analisi istologica di mani e pinne (le ossa delle dita derivano da cartilagine e sono vascolarizzate mentre i raggi delle pinne sono di un tessuto

diverso). Grazie alla tecnica CRISPR di editing genetico, i ricercatori hanno concluso che questa incongruenza è solo apparente. Manipolando embrioni di pesci zebra (*Danio rerio*), hanno scoperto che gli stessi geni *Hox* che guidano nei vertebrati la formazione delle dita controllano nei pesci lo sviluppo dei raggi, svelando così la comune origine genetica delle due strutture. In un altro esperimento i ricercatori hanno inserito proteine fluorescenti nelle cellule che esprimevano i geni *Hox* così da poterne seguire il destino nell'embrione di topi e pesci in formazione.
A sviluppo concluso, le cellule fluorescenti si trovavano rispettivamente nelle dita e nei raggi, la prova che mani e pinne condividono anche la stessa origine cellulare. (MaSa)

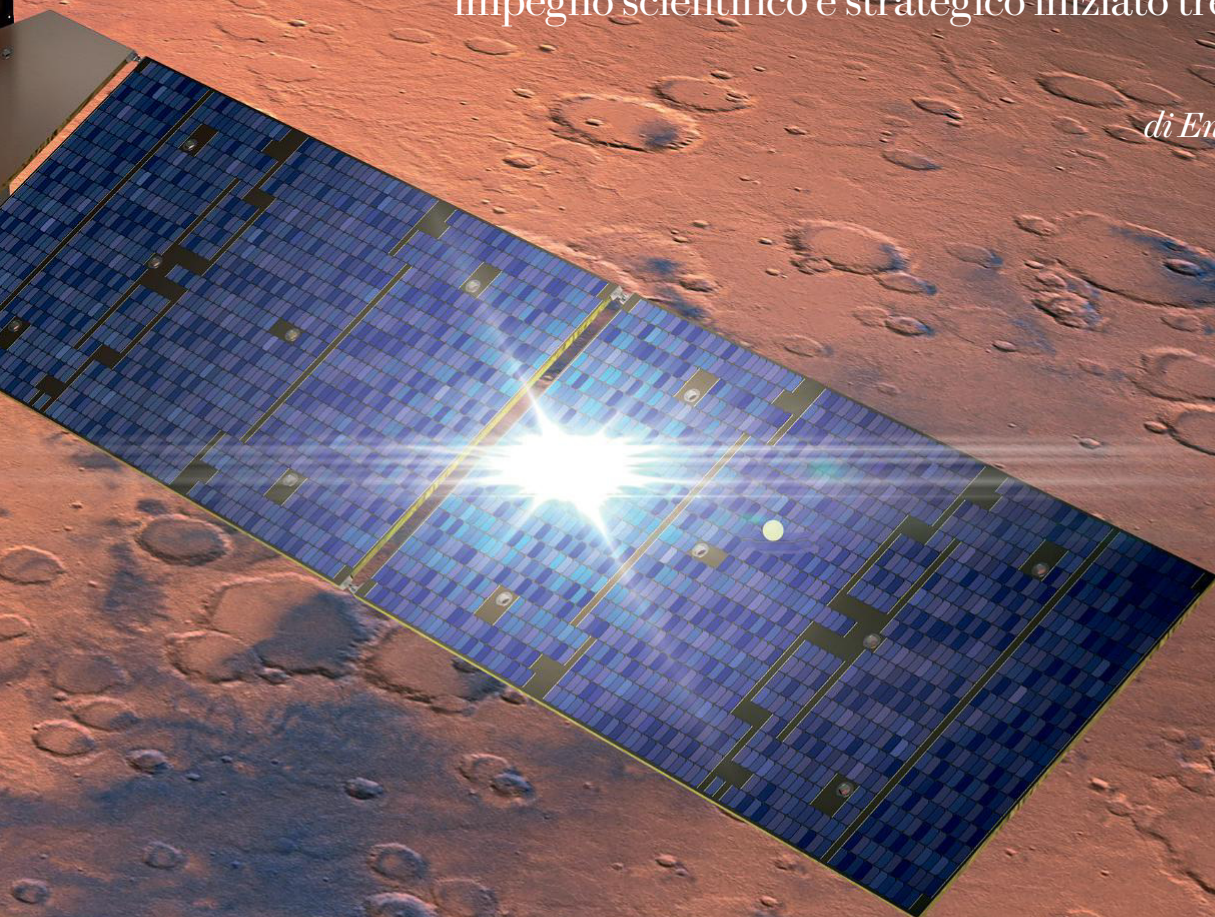
Il misterioso antenato degli australasiani

Le origini dell'uomo moderno si fanno sempre più complicate.
Grazie al DNA estratto dai fossili, da qualche anno sappiamo che Neanderthal e denisoviani, le due specie umane vissute in Eurasia fino a 30.000-40.000 anni fa, si sono incrociati con *Homo sapiens*, lasciando tracce nel genoma di europei e asiatici. Adesso è stato individuato nel DNA di popolazioni del Sudest asiatico il lascito di un ulteriore e misterioso antenato.
La scoperta è del genetista Jaume Bertranpetit, dell'Università Pompeu Fabra di Barcellona, che ha analizzato il DNA di 60 indigeni delle Andamane e l'ha confrontato con quello di indiani e di aborigeni di Papua e Australia.
Come riportato su «Nature Genetic», nel DNA degli andamani e in quello degli aborigeni sono stati individuate sequenze non presenti nei genomi umani conosciuti: né di *H. sapiens*, né di Neanderthal, né di denisoviani. L'ipotesi più verosimile sulla sua origine sembra essere un incrocio fra popolazioni di *H. sapiens*, che fra 60.000 a e 40.000 anni fa migrarono dall'Africa all'Australia lungo il sud dell'Asia, e di *Homo*

erectus, i primi ad aver lasciato l'Africa, intorno a 1,8 milioni di anni fa, e che resistettero in Asia meridionale fino a circa 30.000 anni fa.
«Purtroppo non possiamo ancora confermarlo», dice però Bertranpetit. «Tutte le ossa di *Homo erectus* rinvenute finora o sono troppo antiche o provengono da aree dove il clima è troppo caldo e umido per contenere ancora del DNA leggibile». (AlSa)

Mike Grandmaison/Getty Images (*cannabis*); Long Duk Yiwi/Getty Images (*indigeno*); s-cphoto/Getty Images (*mano*)

Obiettivo Pianeta Rosso

La missione ExoMars, di cui l'Italia è protagonista, sta per entrare nella sua fase cruciale, portando a compimento un impegno scientifico e strategico iniziato trent'anni fa

di Enrico Flamini

Enrico Flamini è *Chief Scientist* dell'Agenzia spaziale italiana, fisico con una lunga esperienza nella realizzazione di missioni planetarie, come la missione Cassini-Huygens, e della loro strumentazione scientifica. Ha fatto parte di tutti i gruppi di lavoro internazionali dedicati all'esplorazione di Marte, di cui si occupa sin dal tempo delle missioni Viking.

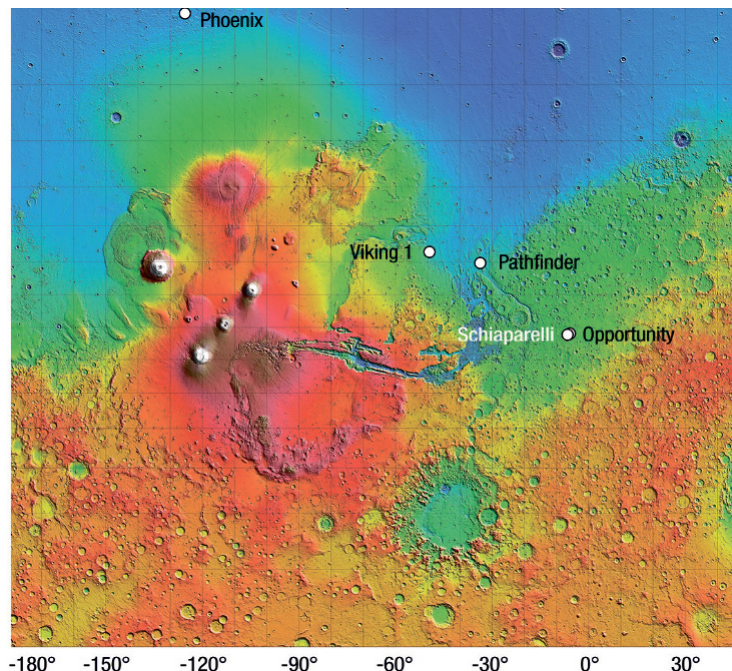
ONCE UPON A TIME...

Forse dovrebbe iniziare così il lungo racconto degli eventi che il prossimo 16 ottobre porteranno la missione europea ExoMars 2016 a inserirsi nell'orbita di Marte, sulla cui superficie tre giorni dopo si poserà il *lander* Schiaparelli. Per capire che cosa porta oggi verso il Pianeta Rosso l'Europa – e in particolare l'Italia, che di questa missione è la grande protagonista sia dal punto di vista scientifico sia da quello industriale – dobbiamo infatti risalire a molti anni fa, alla fine degli anni settanta del secolo scorso, ovvero ai primi lavori italiani di analisi dei dati del Mariner 9 e delle due missioni Viking.

Dalle Viking a Pathfinder

All'inizio l'azione si svolse quasi esclusivamente in un grande appartamento vicino alla «Sapienza» Università di Roma, dove c'era il Reparto di planetologia del Laboratorio di astrofisica spaziale del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR). Il reparto era stato creato pochi anni prima grazie alla lungimiranza di Livio Gratton, allora direttore del laboratorio, sotto la guida di Marcello Fulchignoni e di altri ricercatori, tra cui Angioletta Coradini, che anni dopo sarebbe diventata il faro della ricerca planetaria italiana. A questo nucleo iniziale, di grande peso scientifico, si unirono presto altri giovani ricercatori, via via che si discutevano le prime tesi sullo studio dei pianeti. Eravamo sia fisici che geologi. L'esempio ci veniva dagli Stati Uniti, dove la planetologia era già abbastanza matura: studiare un pianeta, o più in generale il sistema solare, richiedeva un approccio multidisciplinare. La lezione era vera allora, e lo è a maggior ragione oggi che stiamo esplorando gran parte dei corpi del sistema solare.

Si produssero molti lavori apprezzati a livello internazionale, alcuni dedicati Marte, che fecero sì che la piccola comunità planetologica italiana divenisse rapidamente conosciuta e si cominciasse a strutturare una serie di relazioni con altre istituzioni scientifiche internazionali che avrebbero poi dato il via a tutti i successi in questo campo: fino ad arrivare a oggi, con l'Italia che, dopo gli Stati Uniti, è l'unica nazione che può vantare di avere propri strumenti impiegati nell'osservazione di tutti i corpi del sistema solare finora esplorati, a eccezione di Plutone.

Ma torniamo a Marte, e in particolare alle immagini e ai dati di eccezionale valore scientifico prodotti dalle due missioni Viking. La prima giunse su Marte il 19 giugno 1976: dopo un mese di permanenza in orbita la sonda riprese la superficie in alta risoluzione, e quando il suo lander toccò il suolo di Chryse Planitia, a nord dell'equatore marziano, fece funzionare tutti i suoi dispositivi per quattro anni oltre il termine previsto, inviando, insieme alla sonda gemella Viking 2, più di 1400 immagini.

Si trattò di un progetto fondamentale, che dimostrò la capacità di atterraggio morbido su Marte. In particolare, dalle immagini prese dall'*orbiter*, finalmente di buona risoluzione, si poteva individuare una serie di strutture superficiali che facevano intendere che in passato su Marte c'erano stati importanti fenomeni erosivi dovuti allo scorrimento di acqua, e che grandi regioni geologiche erano dominate dal permafrost e dai fenomeni associati.

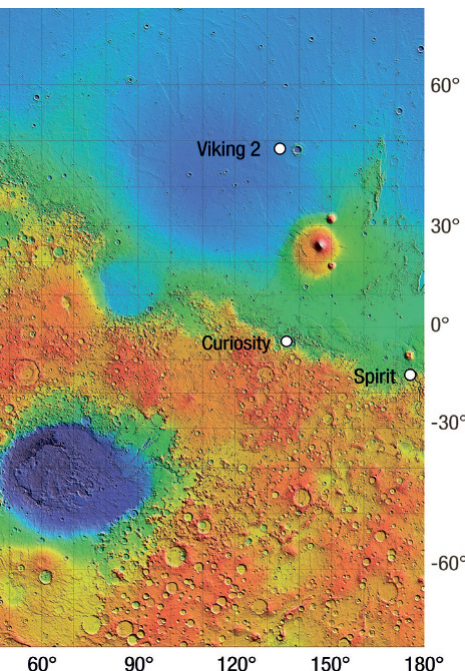
IN BREVE

Lanciata il 14 marzo scorso dalla base di Baikonur, la missione europea ExoMars 2016 sta per avvicinarsi alla sua fase cruciale, in cui il lander Schiaparelli tenterà la discesa sulla superficie di Marte.

La missione è parte della strategia dell'ESA per far crescere in Europa le competenze necessarie a realizzare veicoli robotici in grado di muoversi sulla superficie di Marte e di altri corpi del sistema solare.

L'Italia svolge un ruolo di guida nella missione dal punto di vista finanziario, industriale e scientifico, grazie anche ai successi ottenuti nel corso degli anni dalla comunità planetologica nazionale.

Gli scienziati italiani hanno infatti partecipato allo studio di Marte fin dai tempi delle sonde Viking, e l'Italia è seconda solo agli Stati Uniti per presenza di strumenti nelle missioni di osservazione del sistema solare.

Pagine precedenti: ESA/ATG medialab
In questa pagina: sfondo: MOLA Science Team; mappa: ESA

Il lander Schiaparelli, chiamato come l'astronomo italiano che realizzò la prima mappa di Marte (*sopra in un'interpretazione artistica*), si separerà dall'orbiter TGO il 16 ottobre 2016. Nella mappa a fianco sono indicati i siti di arrivo delle sonde che hanno visitato il Pianeta Rosso e quello in cui è prevista la discesa di Schiaparelli.

Detlev Van Ravensway/SPL/Contrasto

Il permafrost è ben noto anche sulla Terra nelle regioni polari e subpolari, dove la temperatura resta sotto zero per buona parte dell'anno. In queste condizioni l'acqua interstiziale si ghiaccia, producendo un tipo di terreno estremamente duro e caratterizzato da bassissima conducibilità termica. Mentre la prima caratteristica costituisce un problema per la realizzazione di qualsiasi opera ingegneristica, per esempio la posa delle rotaie della Transiberiana, la seconda fa sì che anche quando la temperatura esterna supera lo zero si scioglie solo lo strato superficiale, fino a qualche decina di centimetri, mentre gli strati più profondi restano ghiacciati.

L'acqua può essere presente anche in minime quantità (*dry permafrost*), tuttavia è il legante che caratterizza qualsiasi tipo di permafrost. Ma l'acqua è anche l'elemento più importante su qualsiasi pianeta per gli aspetti legati alla capacità di supportare forme di vita. Per questo motivo cominciammo a studiare tutti quei fenomeni superficiali che potevano far supporre l'esistenza di ghiaccio d'acqua transiente in superficie, o al di sotto di essa, come alcune delle frane visibili nelle scarpate di Valles Marineris e ancora di più ci impegnammo a studiare la termodinamica del permafrost marziano.

Quest'ultimo tema vedeva l'Italia all'avanguardia, e consentì tra l'altro al nostro gruppo di essere gli unici autori non statunitensi presenti con un articolo nell'edizione speciale che il «Journal of Geophysical Research» dedicò alle missioni Viking nel 1979.

Quell'articolo, insieme ad altri che videro come autori altri colleghi del reparto di planetologia, rappresenta il primo contributo alla scienza marziana della comunità scientifica italiana. Un contributo importante che è rimasto nel tempo, anche nei quasi vent'anni che seguirono alle sonde Viking, un lungo intervallo in cui nessun'altra missione spaziale raggiunse Marte.

Furono gli anni dello sviluppo dello *space shuttle* e della Stazione spaziale internazionale da un lato e della realizzazione di missioni come Magellano, Galileo e anche la missione Cassini, tutte avventure che in Occidente non lasciarono molti fondi disponibili per Marte. L'altra grande potenza spaziale di allora, l'Unione Sovietica, tentò invece di raggiungere il pianeta almeno 11 volte, ma a parte le 60 immagini inviate dal Mars 6 e i 15 secondi di funzionamento del lander di Mars 3 sulla superficie, il primo artefatto umano a toccare la superficie marziana, le altre missioni fallirono.

Dopo le sonde Viking, in effetti, Marte sembrava diventato un obiettivo difficile, un pianeta rischioso da esplorare. Ma forse nell'opinione pubblica pesava ancora la delusione suscitata fin dalle prime immagini tra le poche inviate dal Mariner 9, che indicavano chiaramente che non c'era traccia dei canali di Schiaparelli e Lowell né tanto meno di piante o di civiltà marziane.

Per quasi vent'anni nessuna missione raggiunse più Marte, poi le cose cambiarono. Nel 1996 la NASA lanciò un piccolo robot su sei ruote, Pathfinder, grande poco più di un'automobilina radiocomandata. Non era progettato per effettuare specifici esperimenti scientifici, ma per dimostrare una nuova tecnica di atterraggio, basata su *airbag*, e di potersi muovere, guidato da Terra, su una superficie a 20 minuti luce medi da noi: tanto impiega in media un segnale radio per raggiungere Marte.

Pathfinder fu anzitutto un successo tecnologico, che però fornì anche interessanti risvolti scientifici. Persino i solchi lasciati dalle sue ruote diedero un'indicazione importante sulla compattezza del terreno marziano, assai meno coeso di quello lunare, a indicare che i legami elettrostatici che legano le particelle della regolite lunare erano praticamente assenti nelle sabbie di Marte. Infatti il pesante Lunar Rover, nonostante la gravità ridotta della Luna e con due astronauti a bordo, aveva corso sulla superficie lunare con quattro ruote senza affondare, mentre il ben più leggero Pathfinder lasciava solchi abbastanza profondi.

Il 1996 fu anche l'anno della svolta marziana per l'Europa. Dopo l'ennesimo fallimento di una missione russa, Mars 96, che aveva a bordo anche strumenti europei, tra cui uno italiano, la European Space Agency (ESA) fu finalmente in grado di proporre agli stati membri la realizzazione della prima missione europea verso Marte.

L'Europa scende in campo

La missione Mars Express nacque appunto nel dicembre 1996, quando il responsabile per l'esplorazione del sistema solare dell'ESA, Marcello Coradini, presentò l'idea di una missione usando i modelli di riserva degli strumenti europei realizzati per la missione sovietica. La proposta fu accolta con favore. Come Italia, su Mars 96 avevamo il Planetary Fourier Spectrometer (PFS), realizzato da Vittorio Formisano dell' Istituto di fisica dello spazio interplanetario del CNR con il supporto del Centro interdipartimentale di studi e attività spaziali (CISAS) di Padova, ma proponemmo di aggiungere uno strumento mai realizzato prima, uno speciale radar capace di vedere fino a qualche chilometro di profondità, ideato da Giovanni Picardi della «Sapienza» Università di Roma.

Entrambi questi strumenti stanno lavorando perfettamente ancora oggi, a più di 13 anni dal lancio, avvenuto il 2 giugno 2003. PFS ci ha fornito la prima misura attendibile del metano presente nell'atmosfera marziana, ma soprattutto la prova di una sua variazione stagionale. Una prova importante, perché le origini del metano possono essere varie: un'attività vulcanica, ma a oggi non si sono viste tracce di vulcanismo attivo su Marte, oppure un processo di serpentinizzazione del basalto quando è a contatto con l'acqua sotto pressione. Questo processo, che avviene sulla Terra, libera metano in buone quantità ed è un'ipotesi credibile, ma non spiega il fenomeno della variazione stagionale, che può essere invece causata da un'ulteriore possibilità, ovvero l'attività biologica, ma anche questa ha bisogno di acqua.

Dal canto suo, il radar MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding) ci ha fornito, e continua a fornire, un'enorme quantità di informazioni, tra cui la scoperta di crateri nascosti, l'evidenza di depositi di ghiaccio sotto la superficie e la misura dello spessore delle calotte polari, dimostrando che su Marte c'è molta più acqua di quanto si pensasse.

Mars Express aveva a bordo anche un lander, Beagle2, proposto e realizzato sotto la guida del britannico Colin Pillinger. Beagle2, tuttavia, fu sviluppato più come uno strumento di bordo che come una sonda autonoma. Il progetto era anche piuttosto semplicistico, e il tentativo di atterraggio si risolse in un fallimento completo, sulle cui ragioni si sono fatte solo ipotesi. Ma la cocente delusione, e la conseguente eco mediatica negativa, diedero il via a una riflessione sulla necessità che l'Europa non perdesse terreno nell'esplorazione planetaria e si mettesse alla pari con gli Stati Uniti nella capacità di realizzare missioni robotiche di esplorazione del sistema solare, a cominciare dalla Luna e Marte, fino a sviluppare progetti per preparare l'esplorazione umana oltre l'orbita della Terra.

Questa idea ebbe una lunga fase di elaborazione, sotto la spinta propositiva dell'Agenzia spaziale italiana (ASI), che nel 2001 portò infine alla strutturazione del programma Aurora dell'ESA. A novembre di quell'anno Aurora fu riconosciuto dall'European Research Council come parte della strategia europea per lo spazio, che prevedeva tre punti fondamentali: esplorare il sistema solare e l'universo; stimolare nuove tecnologie; ispirare ai giovani europei un crescente interesse per la scienza e la tecnologia.

La strategia delineata era senza dubbio ambiziosa, e implicava lo sviluppo di un piano di lungo periodo che consentisse all'Europa di atterrare e muoversi sulla superficie di altri pianeti sia con elementi robotici sia con astronauti, ma anche di ricercare la vita al di fuori della Terra e stabilire la compatibilità biologica dell'ambiente marziano. C'era fin dall'inizio, quindi, una correlazione strettissima tra sviluppo tecnologico e obiettivi scientifici, ma il fattore guida era dotare l'Europa di tecnologie adeguate.

Per risparmiare energia, dopo la separazione dall'orbiter il lander Schiaparelli entrerà in ibernazione, e sarà riattivato poche ore prima di entrare nell'atmosfera di Marte. Nell'illustrazione a fronte sono indicate le diverse fasi della sua discesa.

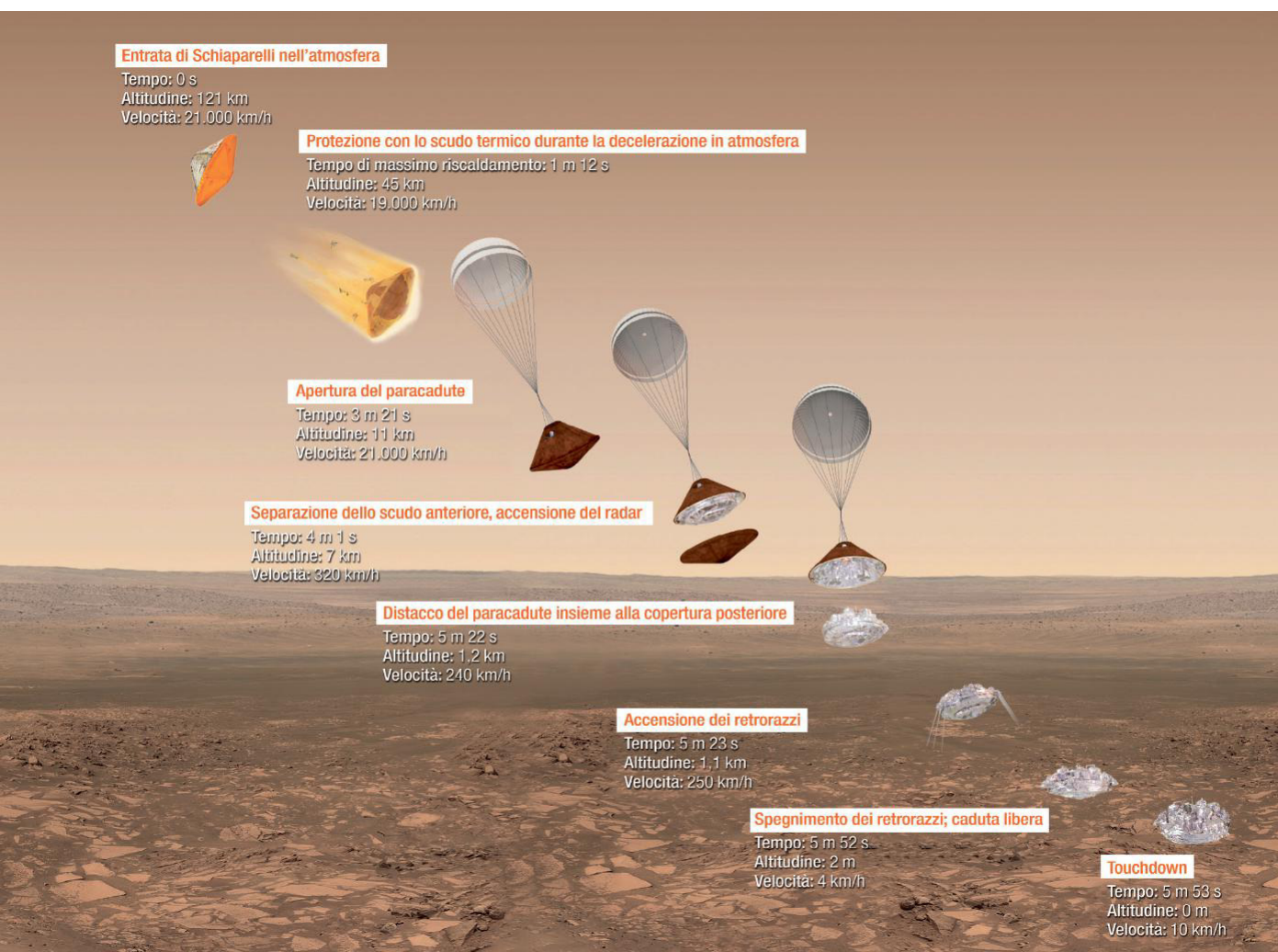
In questa rappresentazione dell'interno di Schiaparelli, privo dello scudo termico e della copertura posteriore, non sono visibili due degli strumenti italiani – AMELIA e INRRI – mentre sono riconoscibili i sensori scientifici della suite DREAMS, che raccoglierà dati sulla superficie di Marte per alcuni giorni.

ESA/ATG medialab

Un programma ambizioso

Il programma Aurora è stato quindi fin dall'inizio un programma articolato su vari temi e di lungo periodo, in cui l'esplorazione robotica di Marte è il primo obiettivo selezionato. Molte sono state le ragioni di questa scelta, ma le principali furono che Marte è il pianeta più promettente per stabilire una colonia umana permanente, che era già un obiettivo primario della NASA, con la quale era comunque strategico cooperare, e che erano disponibili già dati a sufficienza per consentire una progettazione basata su requisiti tecnici e ambientali abbastanza conosciuti.

Nella sua fase iniziale Aurora prevedeva due missioni, denominate *Arrow*. La prima, interamente europea, si chiamava già ExoMars e consisteva di un orbiter e un grande *rover* con molti (troppi) strumenti – per un totale di 40 chilogrammi – incentrati sull'astrobiologia, da lanciare nel 2009. La seconda missione vedeva il ritorno di campioni di suolo marziano, in collaborazione con la NASA. Era composta di quattro elementi, un orbiter e un

ESA/ATG medialab

modulo di ritorno da lanciare nel 2011 e infine un veicolo di discesa e di risalita da Marte da lanciare nel 2013.

Questo ambizioso programma si scontrò presto con l'effettiva disponibilità finanziaria e i tempi di sviluppo, ma anche con la sostanziale carenza di conoscenze in Europa relative alla realizzazione degli elementi di superficie, come i lander o i rover, mentre negli Stati Uniti lo sviluppo di elementi in grado di atterrare su altri pianeti era iniziato con le missioni Ranger già negli anni sessanta per poi proseguire con le missioni robotiche Viking.

Le due sonde Viking, in particolare, furono sviluppate in un momento storico che consentiva la disponibilità di grandi budget, e che rese possibile lo sviluppo di tecnologie abilitanti, metodologie di prova e una cultura specifica che sono rimaste alla base anche dei progetti statunitensi di oggi. La qualifica dei sistemi di discesa, come paracadute e scudi termici, il *testing in open field* e l'addestramento del gruppo, inclusi gli scienziati, nelle sale di controllo già durante la fase di realizzazione e quindi molto in anticipo sull'inizio delle operazioni, sono esempi di questa cultura di base. L'ESA, e con essa l'industria europea, non aveva mai realizzato un vero lander né tanto meno un rover in grado di muoversi in superficie.

C'era stata, è vero, la sonda Huygens, che pure arrivò sulla superficie di Titano. Scendendo su un mondo sconosciuto e sopravvivendo all'impatto, fu comunque un grandissimo successo, ma si trattava di un modulo di discesa atmosferica, senza operazioni programmate in superficie.

Il primo esempio di tentativo europeo di atterrare su Marte, già citato, è stato al contrario un totale insuccesso: Beagle2. In questo caso si trattava di un vero lander, che doveva atterrare e svolgere varie operazioni sulla superficie (ma senza muoversi). Si distaccò come previsto da Mars Express nel novembre 2004 e sarebbe dovuto arrivare su Marte il 24 dicembre, ma la sua fine rimane un mistero. Nessun segnale è mai stato ricevuto, e nemmeno il Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) della NASA, che pure con la sua camera ad altissima risoluzione ha individuato molti dei manufatti umani presenti sul pianeta, è riuscito a evidenziare con certezza il luogo dell'impatto o gli eventuali resti.

La commissione d'inchiesta dell'ESA fu in grado di formulare solo ipotesi su quanto effettivamente accadde, ma l'aspetto più negativo fu che – non essendoci a bordo strumenti per inviare anche un segnale semplice sull'esecuzione di una delle manovre critiche, per esempio un sì o no per l'apertura del paracadute – non potremo mai sapere quale delle funzioni non si è attivata, e quindi non si è avuto un ritorno di conoscenza tecnologica sui meccanismi del fallimento, quella che si definisce *lesson learnt*.

Un indubbio successo è stato invece Philae, il lander della missione Rosetta, atterrato nel 2014 sulla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, che è stato progettato da un consorzio formato dal-

Una collaborazione a guida italiana

ExoMars è frutto di una collaborazione industriale che ha coinvolto più di 100 aziende di oltre 20 paesi. Il coordinamento è stato affidato a Thales Alenia Space Italia (TAS-I) – nei cui stabilimenti di Torino è stato realizzato, tra l'altro, il modulo di discesa Schiaparelli – che ha la responsabilità complessiva di sistema di tutti gli elementi. (Nella mappa non compaiono i paesi extraeuropei che contribuiscono alla missione).

le agenzie spaziali tedesca (DLR), francese (CNES) e da ASI con il supporto di altre sette nazioni, e in cui ESA ha avuto un ruolo essenzialmente di sola verifica e supporto.

Un inizio complicato

In pratica, al momento del varo del progetto ExoMars in ESA non c'era una cultura per i lander planetari né tantomeno per i rover. Di questa carenza ha sicuramente sofferto all'inizio tutto il programma, così come è stato difficile venire a capo delle ambiguità derivanti da un programma che nasceva come opzionale, ovvero finanziato dai soli Stati ESA che vi partecipano, e che quindi era gestito con le metodologie proprie di questo approccio anche per la fase di realizzazione, mentre la strumentazione che è a bordo segue le regole del programma scientifico obbligatorio dell'ESA, per esempio la selezione per competizione.

Questa differenza organizzativa si è riflessa anche sulla progettazione: si è infatti arrivati all'attuale architettura, che prevede due missioni separate, per approssimazioni successive. Un approccio solo in parte connaturato con la necessità di sviluppare specifiche capacità tecnologiche, ma che comunque ha avuto un costo notevole, erodendo già nelle fasi iniziali le risorse per la realizzazione della missione definitiva.

Senza entrare nel dettaglio di tutte le versioni intermedie del progetto e dei molti compromessi sulle tecnologie da adottare, va ricordato almeno l'incontro del giugno 2009 a Plymouth, in Inghilterra, convocato da ESA e NASA con le principali nazioni coinvolte in ExoMars, dove vi fu un tentativo – bloccato dall'Italia, che di ExoMars è anche il principale finanziatore – di snaturare il contenuto della missione, inserendola in un'iniziativa più ampia, che non vedeva più la presenza di un lander o rover europeo con capacità di discesa autonoma e controllata.

Il momento di maggiore crisi è arrivato però nel 2010, quando

ESA

la NASA ha comunicato che, per problemi di budget, non era più in grado di dare il suo contributo, ovvero i due lanciatori e il sistema di atterraggio, né tutti i suoi strumenti previsti per l'orbiter del 2016. Fu un momento difficile, ma in Europa ci si mosse bene aprendo alla collaborazione con la Russia al posto della NASA: che, dopo più di un anno di trattative tecniche, ha acconsentito a un accordo che copre entrambe le missioni ExoMars.

Da quel momento si è finalmente entrati nella vera fase di realizzazione, con l'industria impegnata al massimo per rispettare i tempi ormai ridotti. Ed è arrivato anche il momento di battezzare gli elementi della missione del 2016. La comunità scientifica italiana si è fatta avanti, proponendo per il primo manufatto europeo che si poserà sul suolo di Marte, fino ad allora identificato solo dall'acronimo EDM (Entry Descent Module), un nome importante e conosciuto in tutto il mondo: quello dell'astronomo italiano Giovanni Schiaparelli che per primo disegnò una mappa di Marte, dopo lunghi e accurati studi e centinaia di notti al telescopio.

Schiaparelli fu il primo a identificare sulla superficie di Marte strane strutture a cui diede il nome di «canali», parola che, tradotta erroneamente in inglese in *canals* – quindi di origine artificiale – invece di *channels*, di origine naturale, implicava la presenza di esseri in grado di costruirli. Questo forse non era nei pensieri di Schiaparelli, ma contribuì certamente a creare il mito dei marziani.

La missione ExoMars rappresenta la prima tappa di un percorso che si concluderà con lo sbarco di equipaggi umani su Marte

Il segmento orbitante ha invece mantenuto la denominazione di TGO (Trace Gas Orbiter) poiché lo studio dei gas traccia, come metano e argon, è essenziale per capire stato ed evoluzione di un corpo planetario. Il *payload* del TGO è formato da quattro strumenti: due europei (NOMAD, Nadir and Occultation for MArs Discovery e CaSSIS, Colour and Stereo Surface Imaging System) e due russi (ACS, Atmospheric Chemistry Suite e FREND, Fine Resolution Epithermal Neutron Detector), oltre a un sistema di ricetrasmissione fornito dalla NASA che svolge la funzione di collegamento per consentire le telecomunicazioni tra la Terra e la superficie di Marte. CaSSIS, in particolare, è una camera ottica e stereo ad alta risoluzione a guida congiunta svizzera e italiana che permetterà di realizzare mappe tridimensionali ad alta risoluzione.

Verso le sabbie di Marte

ExoMars 2016, composta dall'insieme TGO e Schiaparelli, è stata lanciata il 14 marzo 2016 dalla base di Baikonur, in Kazakhstan, a bordo di un Proton. Il 28 luglio ha effettuato con successo la principale delle manovre orbitali previste per inserirsi con la dovuta precisione nella seconda parte della sua traiettoria, che vedrà la separazione del modulo Schiaparelli il 16 ottobre, e tre giorni dopo la sua discesa sulla superficie di Marte. Contemporaneamente alla separazione di Schiaparelli, TGO inizierà la sua sequenza di inserimento nell'orbita marziana con una manovra di *aerobraking*, cioè con una lunga serie di passaggi negli strati più alti dell'atmosfera marziana che consentiranno di frenarne progressivamente la velocità fino a conseguire, consumando poco carburante, la collocazione nell'orbita definitiva.

Schiaparelli scenderà nella tenue atmosfera marziana frenato prima da un paracadute e si poserà poi abbastanza dolcemente sulla sua superficie grazie a un evoluto sistema di retrorazzi (*si veda il riquadro a p. 33*). Nella fase di discesa sarà attivo un esperimento a guida italiana, AMELIA (Atmospheric Mars Entry and Landing Investigation and Analysis), che prenderà i dati dei sensori di bordo per studiare la parte alta dell'atmosfera.

Una volta sulla superficie, un altro strumento realizzato in Italia, DREAMS (Dust Risk assessment and Environment Analyser on the Martian Surface), lavorerà per alcuni giorni fornendo preziosi dati scientifici della polvere e della meteorologia marziana essenziale per le future missioni. A bordo abbiamo anche fatto inserire un piccolo sistema di retroriflettori, uno strumento del peso di 25 grammi che non necessita di alcuna energia o manutenzione, ma che resterà sulla superficie per decenni. Concepito e realizzato in Italia anche questo, si chiama INRRI (INstrument for landing-Roving laser Retroreflectors Investigations), e permetterà ai laser che saranno installati a bordo delle future missioni marziane di effettuare misure di distanza assoluta di altissima accuratezza: un'informazione cruciale sia per atterraggi di precisione sia per misurazioni geodetiche.

Mentre si aspetta con ansia la discesa di Schiaparelli su Marte, si sta già lavorando a tempo pieno per la seconda missione ExoMars, che originariamente doveva essere lanciata nel 2018, ma che a fronte della realtà dei tempi di realizzazione e soprattutto della necessità di trovare tutti i fondi necessari, è stata ora riprogrammata per il 2020.

ExoMars 2020 sarà un rover, ovvero un robot su ruote controllato dalla Terra che si muoverà sulla superficie di Marte e, usando una trivella progettata e realizzata in Italia, ne perforerà il suolo fino a due metri di profondità consentendo, per la prima volta dopo decenni di esplorazione di Marte, di prelevare e analizzare quello che si trova sotto la superficie del pianeta, per verificare in particolare se esistono nicchie in cui si potrebbero nascondere, al riparo dalla radiazione ionizzante, tracce di vita biologica.

Con ExoMars 2020, se si risolveranno i problemi programmatici, si completerà, per l'Europa e per la scienza e la tecnologia italiane in particolare, la prima tappa di un lungo percorso iniziato trent'anni fa. Poi verrà la missione che dimostrerà la capacità di effettuare anche il viaggio di ritorno dal Pianeta Rosso riportando campioni di rocce sulla Terra, e finalmente potremo progettare la missione che porterà esseri umani a camminare sulle sabbie di Marte. Sarà una lunga strada, ma abbiamo dimostrato di saperla percorrere. *Ad maiora.* ■

PER APPROFONDIRE

A Thermodinamical Study of the Martian Permafrost. Coradini M. e Flamini E., in «Journal of Geophysical Research», special Issue for the Viking missions, dicembre 1979.

Italian Participation in the Mars Exploration Program. Coradini A., Campbell J.K., De Sanctis M.C., Di Pippo S., Espinasse S., Flamini E., Mugnuolo R., Orosei R. e Piccioni G., in «Advanced Space Research», n. 8, 2001.

Detection of Methane in the Atmosphere of Mars. Formisano V., Atreya S., Encrenaz T., Ignatiev N. e Giuranna M., in «Science», n. 5702, 3 dicembre 2004.

MARSIS: Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding. Picardi G., Biccari D., Seu R., Plaut J., Johnson W.T.K., Jordan R.L., in *Mars Express: the scientific payload*, a cura di Andrew Wilson,coordinamento scientifico di Agustin Chicarro. ESA SP-1240, Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, 2004.

ExoMars - Searching for Life on the Red Planet. Vago J., Gardini B., Kminek G., Baglioni P., Gianfiglio G., Santovincenzo A., Bayón S. e Van Winnendael M., in «ESA Bulletin», n. 126, 2006.

COSMOLOGIA

Il luogo più vuoto dello spazio

I tentativi di spiegare uno strano punto freddo nel cosmo hanno portato alla scoperta di qualcosa di ancora più bizzarro: una regione immensa quasi priva di materia

di István Szapudi

Illustrazione di Maria Corte Maldagan

István Szapudi è astronomo all'Istituto di astronomia dell'Università delle Hawaii; i suoi interessi di ricerca sono centrati sulla cosmologia e sulla struttura a grande scala dell'universo.

Per vedere la luce più antica dell'universo, sintonizzate un vecchio televisore su una frequenza intermedia tra i canali: il pulviscolo luminoso che danza sullo schermo è prodotto dall'incessante bombardamento sull'antenna da parte di fotoni emessi poco dopo il big bang, circa 13,8 miliardi di anni fa. Questi fotoni, la cui temperatura media è 2,7 kelvin, si propagano uniformemente nello spazio provenendo da ogni direzione e formano la radiazione cosmica di fondo a microonde (o *cosmic microwave background*, CMB). Data l'estrema antichità di questi fotoni, la familiare mappa bidimensionale della CMB è spesso considerata come una fotografia dell'«universo appena nato», perché ci permette di guardare all'indietro nel tempo e visualizzare le condizioni primordiali da cui è nato il cosmo attuale.

La nostra fotografia dell'universo appena nato ha però qualche imperfezione. I fisici come il sottoscritto le chiamano anomalie perché non è possibile spiegarle in modo completo con le teorie cosmologiche standard. La più ampia di questa anomalie, scoperta per la prima volta nella mappa della CMB realizzata nel 2004 dalla Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), è il «punto freddo», un'area di cielo di ampiezza circa 20 volte il diametro della Luna piena, in cui gli antichi fotoni hanno una temperatura insolitamente bassa. Si può paragonare il punto freddo a un «neo di bellezza» nella nostra foto: secondo alcuni è una macchia antiestetica che spezza la maestosa simmetria della CMB, mentre per altri è un tocco di varietà nelle caratteristiche dell'universo che ne aumenta l'interesse. Io condivido la seconda opinione: sono sempre stato affascinato da questa anomalia della CMB e dalla ricerca di una possibile spiegazione.

Si tratta di un enigma che ha suscitato accese discussioni. L'ipotesi più semplice è che l'anomalia si sia manifestata per puro caso, senza una causa specifica, ma la probabilità che le cose stiano davvero così è bassa: circa una su 200. Altre spiegazioni vanno dal banale al fantastico: da un artefatto dovuto al malfunzionamento degli strumenti fino all'idea che la regione fredda sia una porta d'accesso a un altro universo o a dimensioni nascoste.

Nel 2007, mediante l'estrapolazione di caratteristiche note del cosmo, io e altri astrofisici abbiamo proposto che un punto freddo di questo tipo potrebbe avere buone probabilità di formarsi se l'universo contenesse, nella stessa zona di cielo, un «supervuoto», ovvero una grande estensione di spazio relativamente priva di materia e di galassie. Questa regione sarebbe il luogo più vuoto dello spazio, una rara e gigantesca landa desolata circondata da zone relativamente dense. La teoria aveva implicazioni enormi. Se un simile vuoto esisteva davvero ed era la causa del punto freddo, come immaginavamo, la colossale regione vuota poteva anche, per ragioni complesse, fornire la prova dell'esistenza dell'energia oscura, l'ipotetica responsabile dell'espansione accelerata dell'universo. Ora i miei colleghi e io all'Università delle Hawaii abbiamo confermato che il vuoto esiste, e stiamo raccogliendo promettenti indizi del fatto che possa spiegare il punto freddo.

Attraversando il vuoto

Gli scienziati hanno accettato gradualmente l'idea che un supervuoto possa esistere e dare origine al punto freddo analizzando i meccanismi con cui si ritiene che la luce interagisca con vuoti più piccoli. L'ipotetico supervuoto sarebbe un caso eccezionale, ma i vuoti ordinari di medie dimensioni – aree che contengono relativamente poche galassie – sono comuni nell'universo. Lo sono anche le loro controparti, gli ammassi, colossali agglomera-

IN BREVE

La radiazione cosmica di fondo a microonde, l'antica luce che pervade l'universo, ha uno strano «punto freddo» dove i fotoni hanno una temperatura significativamente più bassa della media.

Una possibile spiegazione è fornita dall'ipotesi che un gigantesco supervuoto, un'estesa regione di spazio relativamente priva di materia, si trovi in una posizione del cielo coincidente con quella del punto freddo. La radiazione che attraversa un supervuoto tenderebbe a perdere energia (cioè a raffreddarsi) a causa del cosiddetto effetto Sachs-Wolfe integrato, dovuto all'espansione accelerata dell'universo.

Di recente gli astronomi hanno scoperto un supervuoto che si estende 18 miliardi di anni luce in corrispondenza del punto freddo. Saranno necessari ulteriori dati per poter determinare con certezza se questo supervuoto sia realmente responsabile della zona fredda della radiazione cosmica di fondo.

Le scansioni del cielo effettuate dal Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System (Pan-STARRS) a Maui, nelle Hawaii, hanno permesso agli astronomi di identificare un'immensa distesa di spazio relativamente vuoto, un «supervuoto», che potrebbe spiegare l'esistenza di un enigmatico punto freddo nella più antica luce dell'universo.

Cortesia Rob Ratkowski e PS1 Observatory

ti che includono migliaia di galassie. I cosmologi ritengono che i «semi» dei vuoti e degli ammassi siano da rintracciare nell'universo primordiale, quando processi quantistici casuali fecero in modo che la materia fosse leggermente meno densa in alcune zone dello spazio e leggermente più densa in altre. La massa concentrata nelle regioni più dense, esercitando un'intensa attrazione gravitazionale, fece affluire ulteriore materia nel corso del tempo, sottraendola alle regioni che ne erano già carenti. Alla fine le prime diventarono ammassi e le seconde divennero vuoti.

La relativa scarsità di materia nei vuoti fa sì che si comportino come montagne per qualunque cosa li attraversi (*si veda il box a p. 41*). Quando una particella entra in un vuoto, allontanandosi dall'intensa attrazione gravitazionale delle aree più dense circostanti, rallenta come una palla che risale un pendio; quando inizia a uscire dal vuoto in direzione delle regioni più dense, accelera come se stesse rotolando lungo una discesa. I fotoni della CMB si comportano nello stesso modo, anche se non modificano la propria velocità (la velocità della luce nel vuoto è costante): quello che cambia è la loro energia, direttamente proporzionale alla temperatura dei fotoni. Quando un fotone entra in un vuoto risale il pendio e perde energia, cioè si raffredda. Non appena scende sul lato opposto del rilievo recupera la propria energia. Il fotone uscirebbe quindi dal vuoto con la stessa temperatura iniziale, se l'universo non si stesse espandendo a velocità sempre più grande.

Negli ultimi vent'anni, però, il continuo aumento della velocità di espansione dell'universo è diventato un dato acquisito. La maggior parte dei cosmologi attribuisce questa accelerazione all'energia oscura, un ipotetico tipo di pressione negativa che pervade lo spazio e sembra opporsi all'attrazione della gravità. L'accelerazione dell'espansione dell'universo introduce una peculiarità nello scenario precedente: dal punto di vista del nostro fotone della CMB, durante l'attraversamento del vuoto la pianura che circonda il rilievo si alza, perciò il terreno pianeggiante al termine della discesa si trova a una quota più alta di quello all'inizio della salita. Di conseguenza il fotone non riesce a recuperare totalmente l'energia che aveva perso nel risalire il pendio. Il risultato è che i fotoni perdono energia quando attraversano un vuoto. Dovremmo dunque osservare zone in cui la temperatura della radiazione di fondo è più bassa nei pressi delle regioni di minore densità. Questo fenomeno è chiamato effetto Sachs-Wolfe integrato (o ISW, da *Integrated Sachs–Wolfe*). Si applica anche ai superammassi, con la differenza che i fotoni aumentano la propria energia quando attraversano ampie regioni con un eccesso di massa.

Si prevede che l'effetto ISW sia piccolo. Anche nel caso di vuoti piuttosto ampi produrrebbe variazioni di temperatura inferiori alle fluttuazioni medie della temperatura della CMB, che può variare di circa una parte su 10.000 a causa di lievi differenze nella densità dell'universo primordiale quando fu emessa la radiazione di fondo. Ma nel caso di un vuoto veramente grande – un supervuoto – avevamo capito che la differenza poteva essere sufficiente a generare il punto freddo. E se fossimo riusciti a dimostrare che il supervuoto esiste realmente ed è la causa ultima dell'anomalia, avremmo fatto ben più che proporre una spiegazione del punto freddo: avremmo fornito una prova inconfutabile dell'esistenza dell'energia oscura, perché l'effetto ISW può verificarsi solo se questa energia opera nell'universo, accelerandone l'espansione.

In cerca di un supervuoto

Gli astronomi hanno iniziato a cercare un supervuoto che coincidesse con il punto freddo nel 2007. Individuare una struttura così grande è più difficile di quanto sembri. La maggior parte delle ricognizioni astronomiche produce immagini bidimensionali del cielo che non danno alcuna indicazione sulla distanza dei vari oggetti. Le galassie che si osservano potrebbero costituire tutte un solo gruppo oppure essere ampiamente distanti tra loro lungo la linea di vista. È quindi necessario un approfondimento di informazioni per ogni singola galassia al fine di stimarne la distanza: un'impresa laboriosa e spesso dal costo proibitivo.

Nel 2007 Lawrence Rudnick dell'Università del Minnesota e collaboratori, analizzando il catalogo delle galassie nelle onde radio della NRAO VLA Sky Survey (NVSS), hanno scoperto che una regione dello spazio approssimativamente allineata con il punto freddo ha un numero di galassie inferiore alla media. Sebbene la NVSS non fornisca dati sulla specifica distanza delle galassie rilevate, gli astronomi sapevano che la maggior parte delle galassie del catalogo è molto distante da noi. Basandosi su questi dati, hanno ipotizzato che un supervuoto estremamente grande, in grado di dare origine al punto freddo mediante l'effetto ISW, potesse esistere a una distanza di circa 11 miliardi di anni luce. Una difficoltà inerente a questa ipotesi è che la radiazione che oggi raggiunge la Terra dovrebbe aver attraversato questo remotissimo supervuoto in un'epoca assai lontana, circa 8 miliardi di anni fa. Non 11 miliardi di anni fa, perché da quando fu emessa la CMB l'universo espandendosi ha raddoppiato le proprie dimensioni. In un'epoca così lontana l'energia oscura doveva avere un'intensità assai inferiore rispetto a quella attuale, e quindi l'effetto ISW poteva non essere sufficiente per dare origine al punto freddo.

Sebbene non fornisse prove conclusive a sostegno dell'esistenza di un supervuoto, il lavoro di Rudnick ha attirato la mia attenzione. Con Ben Granett e Mark Neyrinck, allora entrambi all'Università delle Hawaii, ho effettuato un'analisi statistica per determinare la frequenza della sovrapposizione tra le strutture minori della CMB – aree relativamente calde o fredde, ma meno «estreme» del punto freddo – e i piccoli ammassi e vuoti dell'universo, trovando che sovrapposizioni del genere sono comuni. Anche se nessuna di queste strutture note poteva spiegare il punto freddo, i risultati ci hanno convinto che la ricerca di un supervuoto coincidente con il punto freddo non era un azzardo e valeva la pena di proseguire.

Abbiamo quindi progettato una serie di osservazioni con il Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) focalizzate su diversi piccoli campi nell'area del punto freddo e abbiamo contato il numero di galassie presenti in ciascuno di essi. Quando abbiamo effettuato le osservazioni a inizio 2010, siamo rimasti delusi nel non trovare alcuna traccia di un supervuoto alla distanza prevista da Rudnick. Addirittura abbiamo potuto escludere la presenza di un supervuoto a distanze superiori a 3 miliardi di anni luce. Anche una ricerca analoga effettuata da Malcolm Bremer dell'Università di Bristol e collaboratori non ha portato ad alcun risultato.

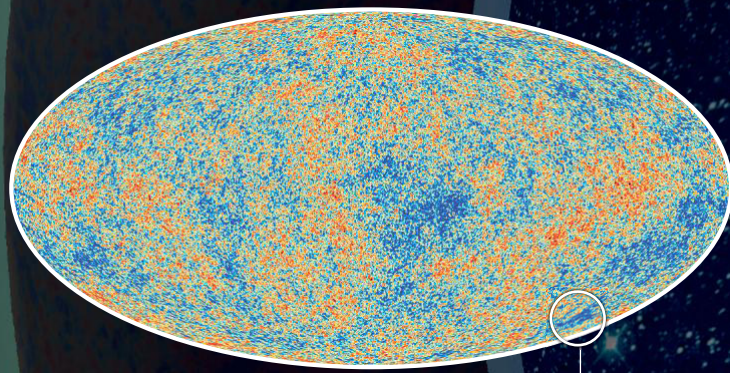
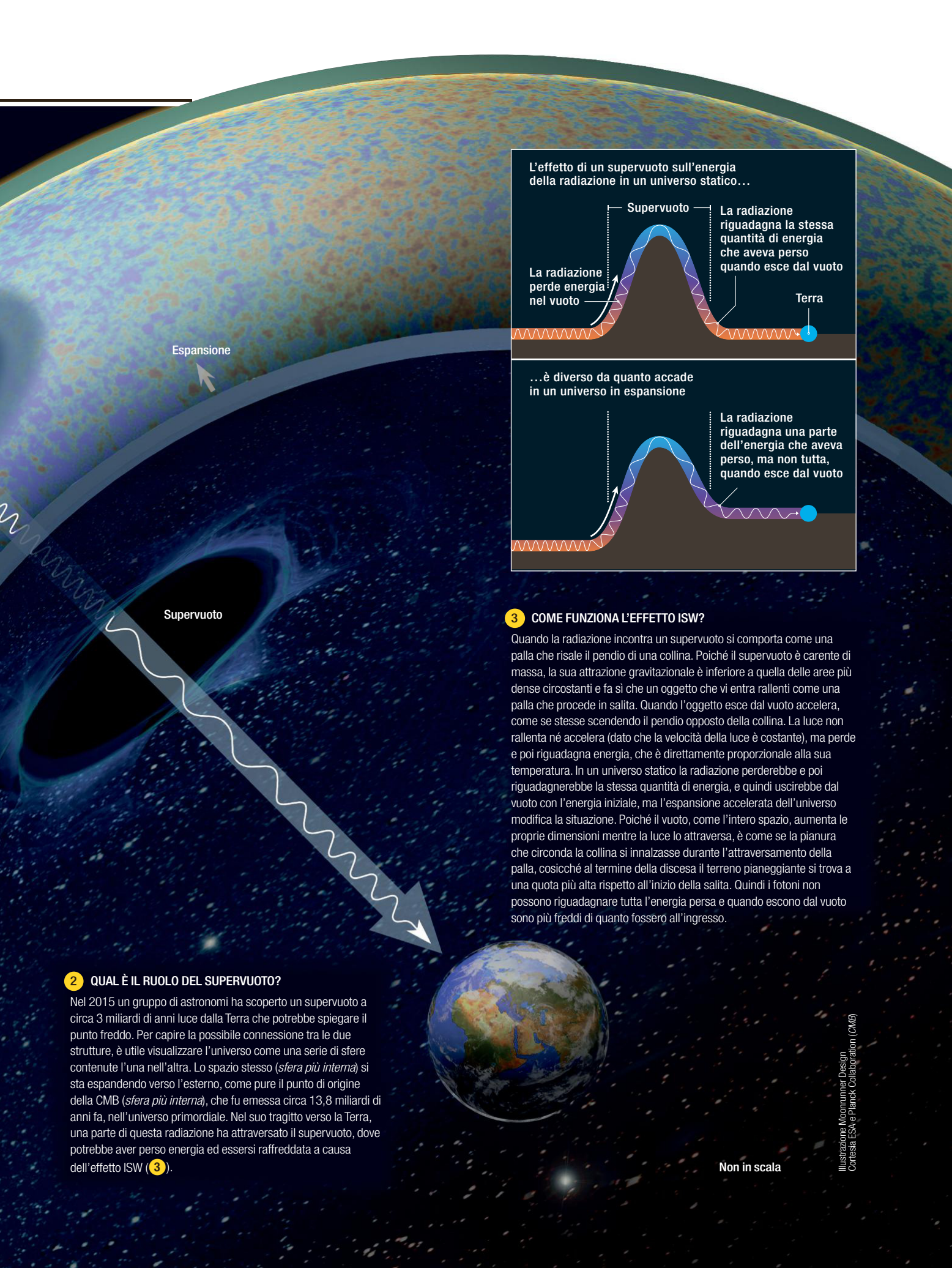
Nel frattempo, la significatività statistica del lavoro originale di Rudnick era stata rivalutata da revisori indipendenti, ed era risultata più bassa di quanto pensato. Per un certo periodo, quindi, è sembrato che la spiegazione del punto freddo basata sull'effetto ISW fosse da respingere.

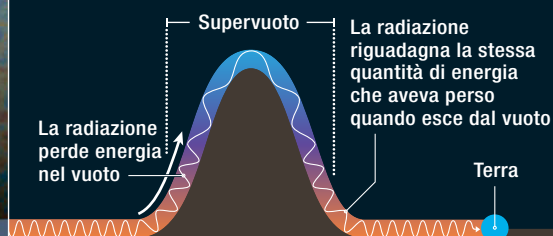
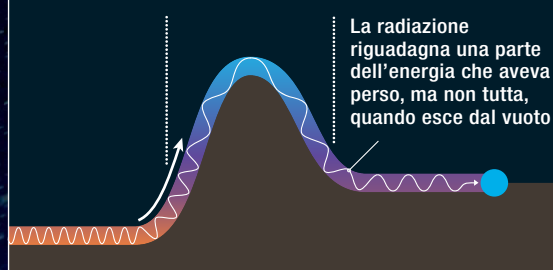
C'era però un lato positivo. Nei nostri dati avevamo trovato un indizio per cui un supervuoto potrebbe celarsi più vicino a noi. Paradossalmente individuare una simile struttura a breve distanza è più difficile con il tipo di dati forniti dal CFHT: nei campi che avevamo osservato, maggiore era la distanza da noi, maggiore era l'area fisica coperta e quindi più accurato era il conteggio delle galassie; vicino a noi, dove il volume del nostro campo era piccolo, avevamo bassa significatività statistica. Di conseguenza avevamo solo il 75 per cento di probabilità che l'indizio nel conteggio di un numero ridotto di galassie rilevato a breve distanza indicasse la presenza di un supervuoto: per gli standard scientifici, poco più che un barlume di speranza. Per arrivare a una conclusione definitiva dovevamo considerare un'a-

Una fredda, solitaria collina di energia

Gli scienziati hanno scoperto un immenso supervuoto, una regione di spazio con un numero di galassie molto inferiore alla norma. L'autore suggerisce che potrebbe spiegare un misterioso «punto freddo» nella radiazione cosmica di fondo a microonde (CMB) identificato circa dieci anni fa. La luce della CMB fu emessa poco dopo il big bang e da allora si propaga nell'universo. I fotoni della CMB che hanno attraversato il supervuoto potrebbero aver perduto parte della propria energia a causa di un processo chiamato effetto Sachs-Wolfe integrato, che ne ha causato il raffreddamento.

1 CHE COS'È IL PUNTO FREDDO NELLA CMB?

La CMB è la radiazione più antica dell'universo e pervade tutto lo spazio. La mappa della CMB estesa su tutto il cielo (*sotto*) mostra lievi differenze nella temperatura dei fotoni incidenti: quelli più caldi (di maggiore energia) appaiono in rosso e quelli più freddi (di minore energia) in blu. Un certo grado di variabilità della radiazione è atteso, ma una regione in particolare (*evidenziata nel cerchio in basso a destra*) è troppo fredda e troppo grande per essere spiegata facilmente. Questo «punto freddo» dà filo da torcere agli scienziati fin dalla sua scoperta, avvenuta nel 2004, nei dati di WMAP.

2 QUAL È IL RUOLO DEL SUPERVUOTO?

Nel 2015 un gruppo di astronomi ha scoperto un supervuoto a circa 3 miliardi di anni luce dalla Terra che potrebbe spiegare il punto freddo. Per capire la possibile connessione tra le due strutture, è utile visualizzare l'universo come una serie di sfere contenute l'una nell'altra. Lo spazio stesso (*sfera più interna*) si sta espandendo verso l'esterno, come pure il punto di origine della CMB (*sfera più interna*), che fu emessa circa 13,8 miliardi di anni fa, nell'universo primordiale. Nel suo tragitto verso la Terra, una parte di questa radiazione ha attraversato il supervuoto, dove potrebbe aver perso energia ed essersi raffreddata a causa dell'effetto ISW (3).

3 COME FUNZIONA L'EFFETTO ISW?

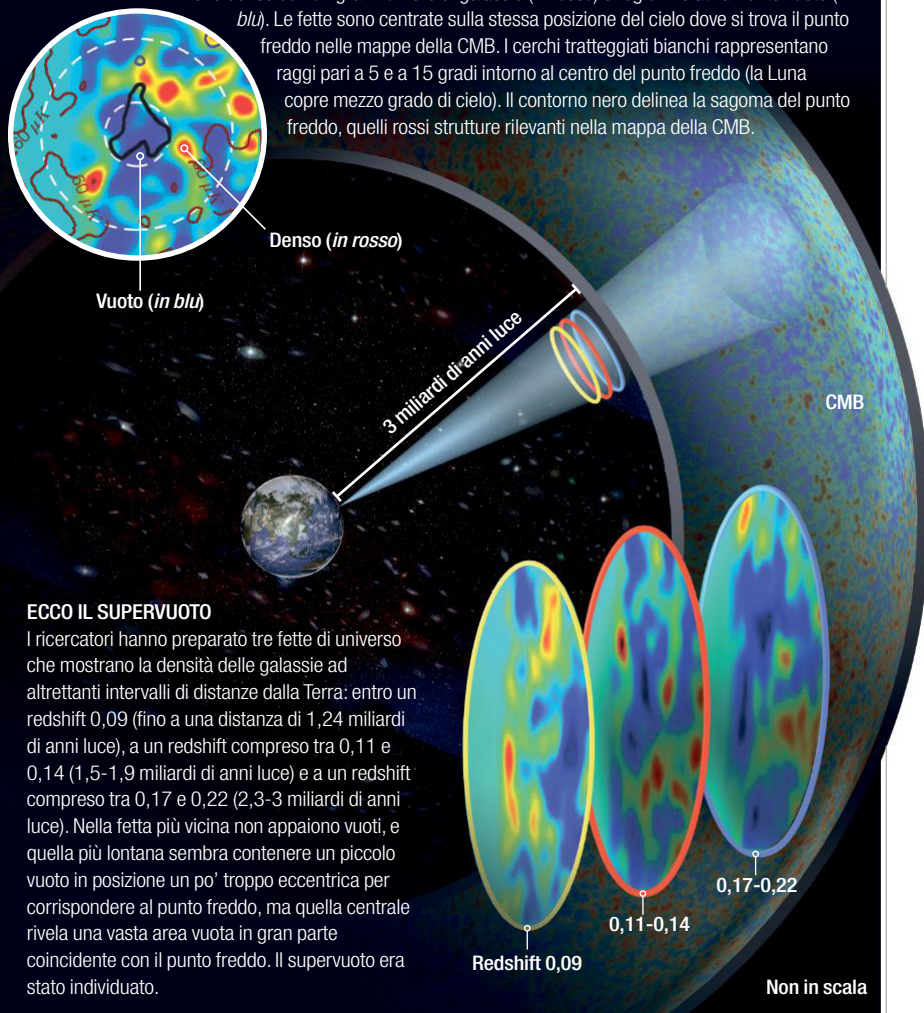
Quando la radiazione incontra un supervuoto si comporta come una palla che risale il pendio di una collina. Poiché il supervuoto è carente di massa, la sua attrazione gravitazionale è inferiore a quella delle aree più dense circostanti e fa sì che un oggetto che vi entra rallenti come una palla che procede in salita. Quando l'oggetto esce dal vuoto accelera, come se stesse scendendo il pendio opposto della collina. La luce non rallenta né accelera (dato che la velocità della luce è costante), ma perde e poi riguadagna energia, che è direttamente proporzionale alla sua temperatura. In un universo statico la radiazione perderebbe e poi riguadagnerebbe la stessa quantità di energia, e quindi uscirebbe dal vuoto con l'energia iniziale, ma l'espansione accelerata dell'universo modifica la situazione. Poiché il vuoto, come l'intero spazio, aumenta le proprie dimensioni mentre la luce lo attraversa, è come se la pianura che circonda la collina si innalzasse durante l'attraversamento della palla, cosicché al termine della discesa il terreno pianeggiante si trova a una quota più alta rispetto all'inizio della salita. Quindi i fotoni non possono riguadagnare tutta l'energia persa e quando escono dal vuoto sono più freddi di quanto fossero all'ingresso.

Illustrazione Moonrunner Design
Cortesia ESA e Planck Collaboration (*CMB*)

METODOLOGIA

Come cercare un supervuoto

Nella ricerca di un supervuoto in grado di spiegare l'esistenza del punto freddo è stato analizzato un catalogo di galassie che raccoglie i dati del satellite Wide-Field Infrared Survey Explorer (WISE), della Two Micron All Sky Survey (2MASS) e di Pan-STARRS. Il catalogo forniva la posizione nel cielo di un gran numero di galassie, ma per determinare l'eventuale presenza di una regione «vuota» nello spazio era necessario conoscere le distanze delle galassie. A questo scopo i ricercatori hanno valutato il colore di ciascuna galassia nel visibile, parametro che forniva una stima approssimata della misura in cui la luce proveniente dalla galassia è soggetta a *redshift*, cioè è spostata verso l'estremità rossa dello spettro elettromagnetico. Questo effetto è causato dall'espansione dell'universo: quando lo spazio si «stira», anche le lunghezze d'onda dei fotoni che lo attraversano si allungano. Quanto maggiore è il redshift di una galassia, tanto maggiore è la sua distanza dalla Terra. Combinando la posizione delle galassie nel cielo con le loro distanze stimate, gli scienziati hanno realizzato una mappa tridimensionale della densità delle galassie nello spazio in direzione del punto freddo.

FETTE DI UNIVERSO
I ricercatori hanno diviso la loro mappa tridimensionale della densità in sezioni piane che mostrano la distribuzione delle galassie a diverse distanze dalla Terra. In ogni fetta (*a sinistra*) il colore indica la densità: zone dense con un gran numero di galassie (*in rosso*) e regioni relativamente vuote (*in blu*). Le fette sono centrate sulla stessa posizione del cielo dove si trova il punto freddo nelle mappe della CMB. I cerchi tratteggiati bianchi rappresentano raggi pari a 5 e a 15 gradi intorno al centro del punto freddo (la Luna copre mezzo grado di cielo). Il contorno nero delinea la sagoma del punto freddo, quelli rossi strutture rilevanti nella mappa della CMB.

ECCO IL SUPERVUOTO
I ricercatori hanno preparato tre fette di universo che mostrano la densità delle galassie ad altrettanti intervalli di distanze dalla Terra: entro un redshift 0,09 (fino a una distanza di 1,24 miliardi di anni luce), a un redshift compreso tra 0,11 e 0,14 (1,5-1,9 miliardi di anni luce) e a un redshift compreso tra 0,17 e 0,22 (2,3-3 miliardi di anni luce). Nella fetta più vicina non appaiono vuoti, e quella più lontana sembra contenere un piccolo vuoto in posizione un po' troppo eccentrica per corrispondere al punto freddo, ma quella centrale rivela una vasta area vuota in gran parte coincidente con il punto freddo. Il supervuoto era stato individuato.

Fonte: *Detection of a Supervoid Aligned With the Cold Spot of the Cosmic Microwave Background*, di István Szapudi e altri, in «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», Vol. 450, n. 1, 11 giugno 2015 (*riquadro*)

rea molto più ampia, coprendo in pratica l'intera regione del punto freddo. All'epoca, con i telescopi a disposizione, non potevamo ottenere una simile copertura; Granett oggi lavora all'Osservatorio astronomico di Brera, a Milano, dell'Istituto nazionale di astrofisica, e Neyrinck si è trasferito alla Johns Hopkins University.

Un colpo di fortuna

Per fortuna, nel giro di pochi anni sarei stato in grado di ottenere nuovi dati. Proprio quando salutavo Granett e Neyrinck, l'Institute for Astronomy dell'Università delle Hawaii, dove lavoro, aveva terminato la costruzione di un nuovo telescopio: PS1, il primo strumento del Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System (Pan-STARRS). Era ciò che mi serviva. Equipaggiato con la fotocamera più grande del mondo, da 1,4 gigapixel, il telescopio si trova a oltre 3000 metri di quota sul vulcano Haleakala, a Maui.

Nel maggio 2010, in un consorzio con diverse altre università, abbiamo iniziato la mappatura di tre quarti del cielo con PS1. Ricordo che avevo cercato di convincere Nick Kaiser, allora *principal investigator* di Pan-STARRS, della necessità di considerare l'area del punto freddo come il primo bersaglio delle osservazioni del nuovo strumento. Anche se non ero riuscito nel mio intento, l'area era stata comunque inclusa nella regione di cielo da indagare nei primi anni di funzionamento del telescopio e le misurazioni di cui avevo bisogno sarebbero arrivate a poco a poco.

Durante questo periodo di ansiosa attesa ho collaborato con András Kovács dell'Università «Eötvös Loránd» di Budapest; il nostro obiettivo era studiare l'effetto ISW e, se possibile, cercare un supervuoto, usando le osservazioni della CMB realizzate dai satelliti Planck e WMAP insieme a una base di dati di galassie appena pubblicata e ottenuta da osservazioni nell'infrarosso del satellite Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE).

Kovács mi ha raggiunto alle Hawaii in più occasioni, restandovi per alcuni mesi, e durante le estati sono andato a Budapest. Per il resto del tempo ci siamo tenuti in contatto con teleconferenze settimanali e, data la differenza di 12 ore tra Honolulu e Budapest, le nostre conversazioni proseguivano fino a quando in Europa era ormai notte fonda. Durante uno di questi primi contatti gli ho chie-

sto di cercare nel catalogo di galassie di WISE le regioni più ampie con bassa densità di materia, ovvero i vuoti. Alcuni giorni dopo mi ha spedito via e-mail immagini e coordinate dei vuoti più grandi del catalogo. Leggendo il suo messaggio ho capito subito che uno dei vuoti da lui individuati coincideva con la regione del cielo dove si trova il punto freddo. Poiché non avevo ancora parlato a Kovács del mio interesse per un possibile legame tra un supervuoto e il punto freddo, questo risultato mi era sembrato entusiasmante: non poteva essere viziato dalla speranza di trovare le prove di una correlazione con il punto freddo, dato che Kovács non sapeva di dover cercare una correlazione del genere. Poiché le galassie individuate da WISE sono più vicine rispetto a quelle del database di NVSS, questo era il secondo indizio per cui forse avremmo dovuto cercare il supervuoto nelle vicinanze.

Da questo punto in poi abbiamo lavorato per anni per trasformare le nostre intuizioni iniziali in una scoperta. Abbiamo usato i dati combinati dei cataloghi di galassie ottenuti da WISE, Pan-STARRS e Two Micron All Sky Survey (2MASS), ma dovevamo assegnare a queste galassie le relative distanze. Un modo per misurare la distanza di un oggetto nel cosmo è osservarne il *redshift*, cioè lo spostamento della sua luce verso l'estremità rossa dello spettro elettromagnetico. Quanto più una galassia è lontana, tanto più velocemente si allontana da noi e tanto maggiore è il suo redshift. Non avevamo a disposizione misure esatte del redshift delle nostre galassie, ma potevamo valutarlo in maniera approssimata con l'analisi del colore delle galassie stesse, confrontando cioè le nostre stime della luminosità a diverse lunghezze d'onda di una galassia in assenza di redshift con le osservazioni che avevamo effettuato.

Il supervuoto forse è la dimostrazione dell'energia oscura o forse rivela una verità sorprendente sull'azione della gravità

Alla fine abbiamo assegnato una distanza a ciascuna galassia che si trovava nella direzione del punto freddo e abbiamo realizzato una serie di sezioni tomografiche: immagini piane dell'universo corrispondenti a diverse distanze dalla Terra. La prima serie di immagini ci ha fatto pensare a una mela tagliata a fette verticali, dato che nella zona centrale conteneva un'ampia regione vuota approssimativamente sferica. Questo gigantesco vuoto si nascondeva effettivamente molto vicino a noi, a una distanza di circa 3 miliardi di anni luce: per questo è stato così difficile individuarlo.

Nei mesi successivi abbiamo analizzato i nostri dati dal punto di vista statistico e abbiamo trovato che la prova a sostegno del supervuoto è estremamente significativa: in altri termini, abbiamo la certezza quasi totale dell'esistenza di una regione a bassa densità che coincide con il punto freddo. E il supervuoto è colossale: il suo diametro di 1,8 miliardi di anni luce ne fa verosimilmente la più grande struttura identificata. È probabile che si tratti di un oggetto molto raro: secondo le teorie cosmologiche, nell'universo osservabile dovrebbero esistere solo pochi altri vuoti confrontabili.

Comprendere il punto freddo

Alla fine, quindi, avevamo trovato il supervuoto. Dai nostri studi precedenti sapevamo che vuoti e ammassi hanno un effetto misurabile sulla CMB, perché generano piccoli punti freddi e caldi. E il supervuoto che avevamo scoperto coincideva con l'anomalia più significativa della CMB. Problema risolto, dunque?

Non proprio. La semplice esistenza del supervuoto, e anche il suo allineamento con la regione del punto freddo, non bastano per concludere in maniera definitiva che l'uno è la causa dell'altro. L'allineamento potrebbe essere una coincidenza. La nostra analisi però stima prudenzialmente che la probabilità che il supervuoto generi il punto freddo è 20.000 volte più grande della probabilità che si tratti di una coincidenza.

C'è però un problema più grave. Sebbene il supervuoto sia nella posizione giusta per generare il punto freddo, le sue dimensioni non sono adeguate. Per spiegare perché la temperatura del punto freddo sia tanto più bassa rispetto a quella media della CMB, il supervuoto dovrebbe essere ancora più grande di quanto sembra essere, forse di un fattore compreso tra due e quattro. Questa discrepanza è così difficile da accettare che alcuni scienziati ritengono che la sovrapposizione tra supervuoto e area del punto freddo possa essere niente altro che un artefatto. Propongono quindi di cercare altre spiegazioni, come la possibilità che le galassie emettano nello spazio una quantità di radiazione più bassa del previsto: un fenomeno che, in una certa misura, potrebbe imitare l'effetto ISW. Inoltre, sebbene le nostre osservazioni dimostrino chiaramente l'esistenza del supervuoto, non possiamo essere così certi della sua dimensione, forma e posizione da riuscire a calcolare esattamente l'effetto che dovrebbe avere. In particolare, se il supervuoto avesse una forma allungata con l'asse maggiore diretto verso la Terra, o se diversi vuoti sferici fossero disposti l'uno dietro l'altro nella direzione del punto freddo (come in un pupazzo di neve), allora il vuoto potrebbe spiegare più facilmente l'esistenza del punto freddo stesso. In definitiva, non sappiamo ancora fino a che punto la grandezza del supervuoto costituisca un ostacolo per la nostra teoria.

Abbiamo bisogno di altri dati. Stiamo già progettando di ripetere il nostro studio sull'intera area di cielo che è stata cartografata con PS1, quindi non limitarci ai primi dati parziali, e di usare le osservazioni nel frattempo aggiornate per ridurre le incertezze. Questi dati ci permetteranno di quantificare la divergenza tra le nostre misurazioni e la teoria e di determinare se siano necessarie modifiche alle nostre ipotesi sull'effetto ISW e i vuoti. È anche possibile che questa discrepanza ci racconti qualcosa di interessante. Per esempio, una classe di teorie alternative della gravità che diverge dalla relatività generale ha una «firma» caratteristica che dovrebbe manifestarsi solo nei vuoti, e se una di questa teorie fosse corretta anche l'effetto ISW potrebbe funzionare in maniera differente. Se il nostro supervuoto fosse un elemento a sostegno di queste teorie, potremmo avere un'opportunità straordinaria per conoscere l'universo a un livello più profondo dell'attuale.

In ogni caso, la scoperta del supervuoto ci racconta qualcosa di significativo. Forse è la dimostrazione dell'esistenza dell'energia oscura, o forse rivela una verità ancora più sorprendente su come opera la gravità. Nei prossimi anni dovremmo riuscire a conoscere meglio il supervuoto, e con questa struttura la natura dell'universo in cui viviamo. ■

PER APPROFONDIRE

Detection of a Supervoid Aligned with the Cold Spot of the Cosmic Microwave Background. Szapudi I. e altri, in «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», Vol. 450, n. 1, pp. 288-294, 11 giugno 2015.

L'universo è stonato? Starkman G.D. e Schwarz D.J., in «Le Scienze» n. 445, settembre 2005.

Sette anni di viaggio per raccogliere 60 grammi di asteroide

Il volo della sonda OSIRIS-REx verso l'asteroide Bennu risponderà ad alcune domande sul nostro remoto passato e i nostri possibili futuri

di Dante S. Lauretta

IN BREVE

Gli asteroidi sono residui incontaminati della nascita del sistema solare, che promettono risposte a domande ancora irrisolte sulla formazione dei pianeti e forse sull'origine della vita.

Ma oltre alle opportunità presentano anche rischi: gli asteroidi contengono metalli, acqua e composti organici che potrebbero essere estratti, ma alcuni di loro potrebbero colpire la Terra.

Raccogliere campioni e riportarli sul nostro pianeta per studiarli è la prossima frontiera della ricerca sugli asteroidi, che sia per scopi scientifici, economici o di sicurezza.

Bryan Christie

Come un colibrì che si libra su un fiore, nel 2019 la sonda spaziale OSIRIS-REx cercherà di prelevare campioni dalla superficie ricca di carbonio di Bennu. La missione è la più ambiziosa raccolta di campioni di asteroidi mai tentata, e la prima compiuta dagli Stati Uniti.

Dante S. Lauretta è professore di planetologia all'Università dell'Arizona. I suoi principali interessi di ricerca includono la formazione dei pianeti abitabili e la possibilità che la vita sia nata in qualche altro punto dell'universo.

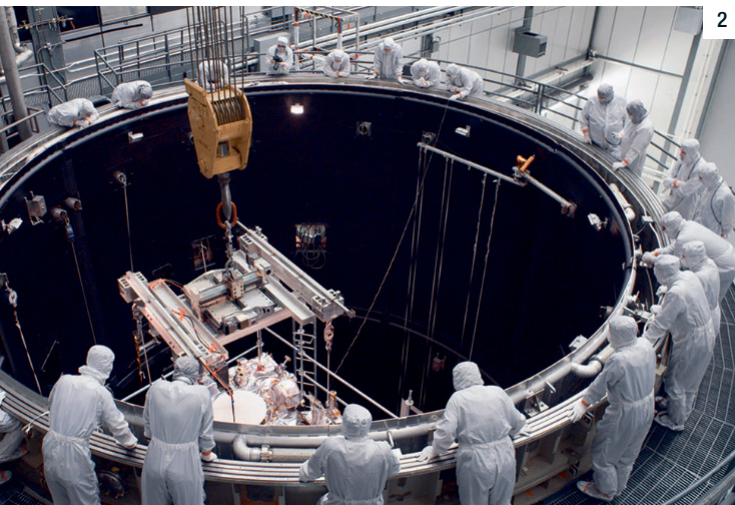
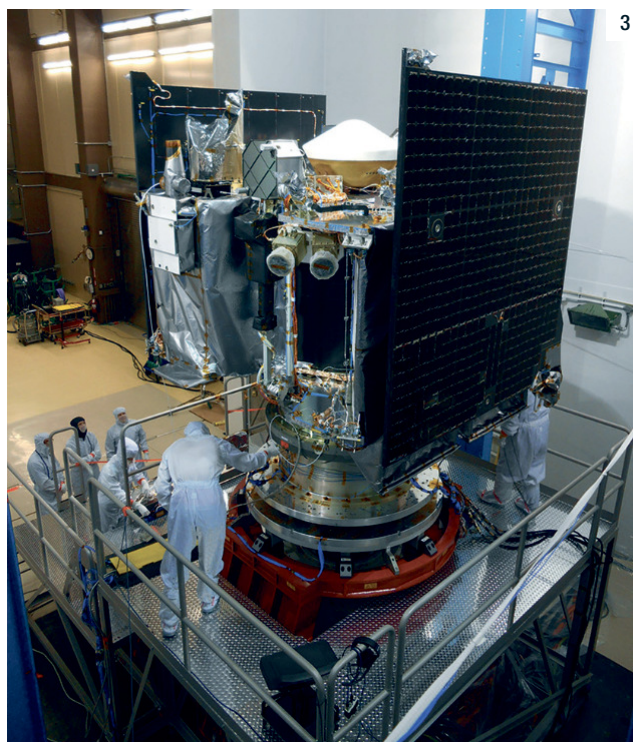
L'asteroide più minaccioso tra quelli che conosciamo è stato scoperto nel 1999: volteggia per lo spazio su un'orbita instabile che interseca periodicamente quella della Terra attorno al Sole. Ha un diametro di mezzo chilometro e gli astronomi l'hanno battezzato Bennu, come il dio della creazione della mitologia egizia. E in effetti se Bennu, che è pieno di composti organici e minerali ricchi di acqua, precipitasse su un mondo sterile potrebbe portarvi i semi della vita. Ma forse invece è destinato a provocare morte e sofferenza: si prevede che nel 2135 Bennu passerà più vicino alla Terra della Luna, effettuando un sorvolo che potrebbe modificare la traiettoria dell'asteroide fino a procurare un impatto con il nostro pianeta alla fine del XXII secolo.

Nessuno può prevedere il punto della Terra su cui potrebbe precipitare Bennu, anche se semplici calcoli dicono che la collisione potrebbe liberare un'energia corrispondente a 3000 megatoni. Se il passaggio del 2135 lo inserirà in una rotta di collisione con la Terra, i leader mondiali avranno praticamente solo due possibilità per scongiurare un disastro: evacuare vaste zone del pianeta o lanciare una missione per deviare l'asteroide. Per sapere di che portata dovrà essere l'evacuazione o la missione spaziale, si baseranno in parte sui dati raccolti più di un secolo prima da una missione della NASA che è stata lanciata a settembre. La sonda, chiamata OSIRIS-REx, visiterà Bennu con l'obiettivo di tornare sulla Terra portando campioni dell'asteroide.

Le origini di OSIRIS-REx

Residui della formazione del sistema solare, gli asteroidi portano messaggi dalle oscure profondità della nostra storia e dati che altrimenti sarebbe impossibile ottenere su eventi che precedono di centinaia di milioni di anni la storia geologica terrestre. I campioni prelevati da un asteroide possono contenere risposte a domande ancora irrisolte sulla nascita del Sole, sulla formazione dei pianeti e addirittura sulle origini della vita sulla Terra. Se a tutto questo aggiungiamo anche l'importanza di prevenire collisioni catastrofiche, è ovvio il motivo per cui gli scienziati sono interessati a questi oggetti.

Meno ovvio è il motivo per cui sia necessario inviare una sonda in una missione di andata e ritorno per prelevare campioni. Dopo tutto sulla Terra cadono in continuazione frammenti di asteroidi: li chiamiamo meteoriti. Il problema è che pochi o nessuno di questi meteoriti arrivano puri; tutti entrano nell'atmosfera terrestre arroventandosi in un modo che ne fonde la superficie e poi spesso languono per anni, secoli o millenni prima di essere trovati, mentre le loro storie dimenticate sbiadiscono lentamente in un'esposizione prolungata alle intemperie. La maggior parte degli asteroidi, invece, è rimasta in stasi per miliardi di anni nell'ambiente sterile dello spazio profondo. Visitarli è l'unico modo per accedere alle informazioni che contengono.

Anche fra gli asteroidi, Bennu è un caso speciale. I frammenti di meteoriti che riempiono i musei sono composti per lo più di roccia e metallo, materiali sufficientemente resistenti da sopravvivere alla caduta sulla superficie del nostro pianeta. Bennu invece è una massa nerissima di delicati composti organici; questi composti del carbonio potrebbero essere i precursori della biochimica del nostro pianeta. Gli scienziati vorrebbero studiare Bennu anche se non costituisse un rischio potenziale. Ma lo è eccome, una mi-

Il viaggio di OSIRIS-REx verso Bennu è cominciato 12 anni prima del suo lancio, avvenuto nella notte tra 8 e 9 settembre 2016. La sonda è stata prima assemblata (*1*) e poi collaudata nelle camere a vuoto (*2*) e nei laboratori acustici (*3*) delle strutture della Lockheed Martin Space Systems a Littleton, in Colorado.

Cortesia Lockheed Martin Corporation (*due immagini in alto*); cortesia Symeon Platts, Università dell'Arizona (*in basso*)

naccia, e proprio perché si avvicina così tanto alla Terra è possibile progettare una missione per prelevarne campioni.

La storia di Bennu risale ad almeno un miliardo di anni fa, quando nacque come mucchio di detriti espulsi da un protopianeta frammentato dagli impatti, alla deriva fra Marte e Giove. La storia di OSIRIS-REx, invece, inizia a febbraio 2004, quando ero da poco *assistant professor* e lavoravo al Lunar and Planetary Laboratory dell'Università dell'Arizona. La società aerospaziale Lockheed Martin aveva contattato il mio capo, Michael J. Drake, affinché dirigesse le ricerche per una possibile missione di raccolta di campioni per la NASA, Drake mi aveva chiesto di fargli da vice.

Inizialmente il mio contributo alla missione era stato definirne le motivazioni scientifiche. Studiavo meteoriti da più di dieci anni e conoscevo tutte le domande a cui esclusivamente una raccolta di campioni di una certa entità avrebbe potuto rispondere. All'epoca c'era solo un altro progetto paragonabile al nostro: la missione Hayabusa dell'Agenzia spaziale giapponese, che consisteva in incontro con l'asteroide Itokawa, nel 2005, per estrarne campioni. Hayabusa aveva avuto un successo solo parziale: la sonda era riuscita a raccogliere 1500 microscopici granelli di minerale, molto meno del previsto: è difficile prelevare campioni da un asteroide. Inoltre Itokawa era un oggetto roccioso e luminoso, con una storia e un potenziale scientifico molto diversi rispetto a quelli di asteroidi scuri e a base di carbonio come Bennu. Entravamo in un continente inesplorato.

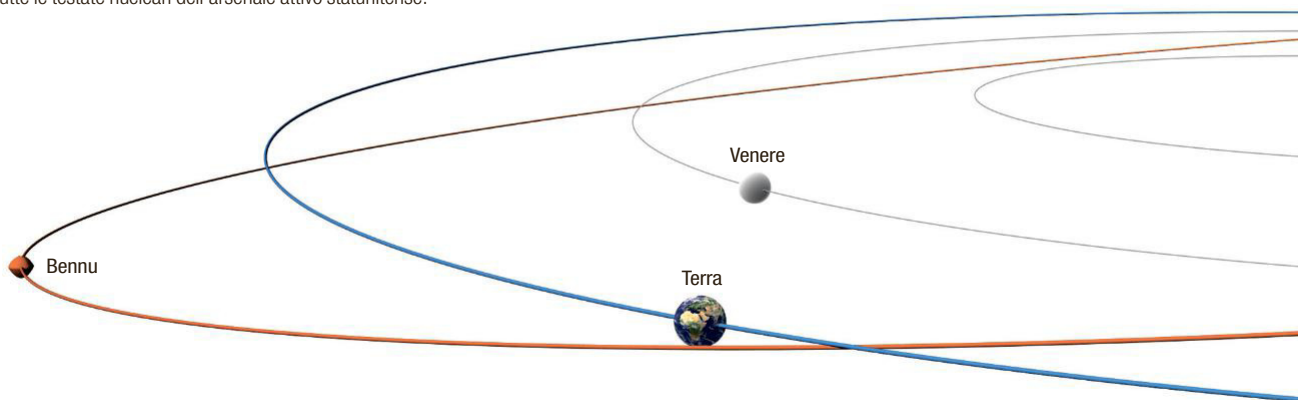
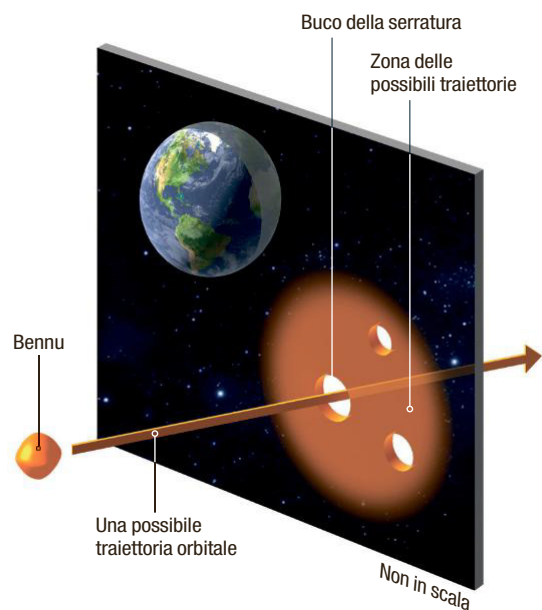
Una sera, a casa, ho deciso di buttare giù una bozza dei principali temi scientifici della missione e ho scritto quattro parole: origini, spettroscopia, risorse e sicurezza. Campioni puri da un asteroide come Bennu potrebbero dirci molto sulle origini dei pianeti e della vita stessa. Gli studi spettroscopici del suo suolo, la regolite, aumenterebbero le possibilità di raccogliere campioni utili scientificamente, e forse riveleranno anche se Bennu ha risorse preziose che un giorno si potrebbero estrarre. Più ne sappiamo su orbita, composizione e altre caratteristiche di Bennu, migliori saranno le nostre probabilità di capire se porrà una minaccia alla Terra, o come deviarlo. In generale, l'osservazione dettagliata a contatto con il suolo permetterebbe di precisare e correggere eventuali difetti delle osservazioni telescopiche e dei modelli teorici, completando gli studi sull'ampia varietà di asteroidi del sistema solare.

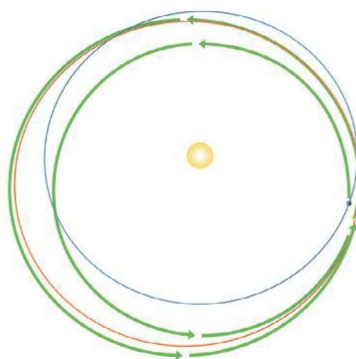
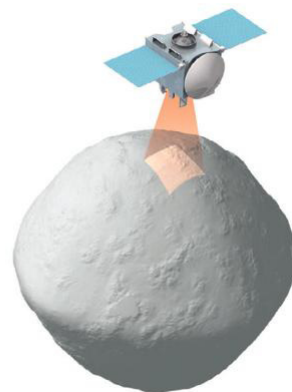
Quella bozza ha finito per definire la missione e darle l'acronimo: OSIRIS-REx sta per Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, and Security - Regolith Explorer («Origini, interpretazione spettrale, identificazione di risorse e sicurezza - Esploratore di regolite»). La NASA ha approvato OSIRIS-REx il 25 maggio 2011 e la nostra squadra si è riunita per festeggiare il successo. Drake è venuto a mancare poco dopo, nel settembre 2011. Io sono stato promosso a direttore delle ricerche; la squadra di OSIRIS-REx lavora ogni giorno in onore di Mike, sapendo che sarebbe orgoglioso di noi, mentre ci prepariamo a superare una nuova frontiera scientifica.

Incontro ravvicinato con un asteroide minaccioso

A settembre la sonda OSIRIS-REx della NASA è partita per un viaggio interplanetario alla volta di Bennu, un asteroide vicino alla Terra del diametro di 0,5 chilometri che un giorno potrebbe colpire il nostro pianeta (1). Chiarendo i motivi dell'instabilità dell'orbita di Bennu, OSIRIS-REx potrebbe rivelare aspetti importanti del nostro futuro: l'asteroide colpirà effettivamente la Terra? E se sì, come evitare questa collisione? (2) L'obiettivo primario della missione, però, sarà raccogliere un campione incontaminato dall'antica superficie di Bennu, che è ricca di molecole organiche che si potranno usare per studiare il più remoto e oscuro passato del sistema solare (3).

1 Troppo vicino per stare tranquilli

Nel 2135 Bennu passerà più vicino alla Terra rispetto alla Luna e mancherà il nostro pianeta di 300.000 chilometri. Nel corso di questo incontro ravvicinato, l'asteroide potrebbe passare attraverso una fra varie regioni di spazio intorno al nostro pianeta, grandi qualche chilometro, dette «buchi della serratura», in cui la gravità terrestre modificherebbe la traiettoria di Bennu in modo da garantire una collisione nel corso di un passaggio successivo. Se colpisse la Terra, Bennu potrebbe rilasciare circa tanta energia quanta quella contenuta in tutte le testate nucleari dell'arsenale attivo statunitense.

3 Il viaggio di OSIRIS-REx

Le osservazioni dell'effetto Yarkovsky emergeranno naturalmente durante la missione di OSIRIS-REx, con la misurazione da parte della sonda di forma, densità e composizione superficiale di Bennu in cerca di un sito per il prelievo di campioni. Dopo il lancio in settembre, la sonda viaggerà per due anni verso l'asteroide, passando una volta vicino alla Terra per accumulare velocità addizionale. Nel 2018, dopo essere arrivato presso Bennu, OSIRIS-REx comincerà a mappare l'asteroide per trovare possibili siti per il campionamento: potrebbe visitarne uno già a luglio 2020, ottenendo un campione con un braccio retraibile nel corso di una manovra «toccata e fuga» di cinque secondi. Dopo i 2,5 anni del viaggio di ritorno, OSIRIS-REx espellerà la capsula con i campioni, che entrerà nell'atmosfera terrestre, fino al deserto dello Utah, dove sarà recuperata.

2 Un asteroide alla deriva

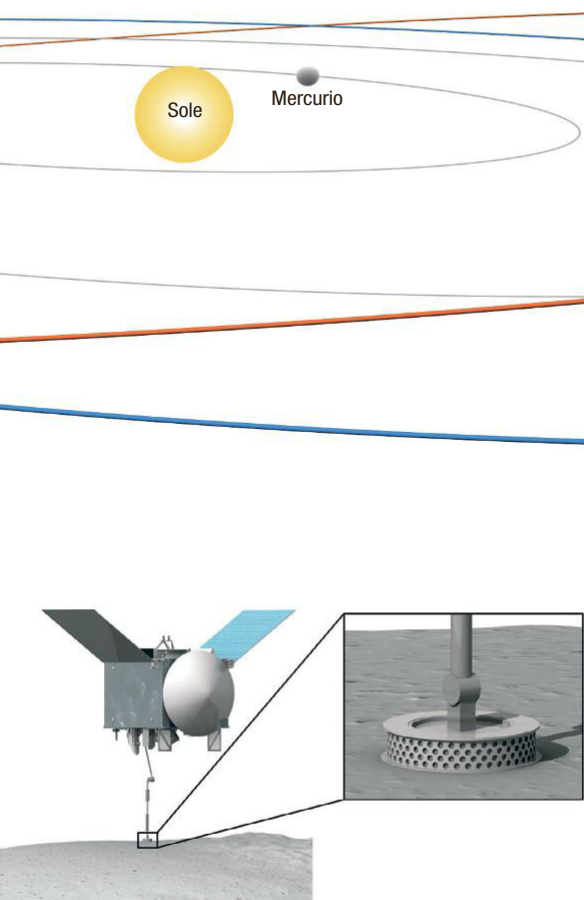
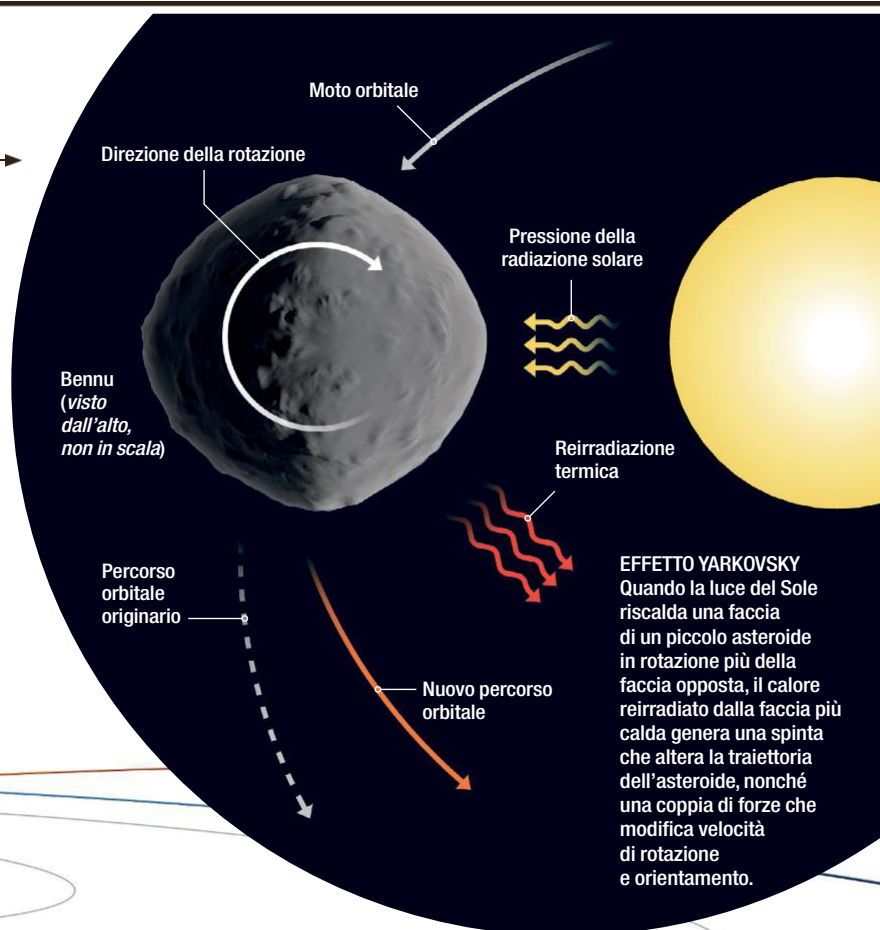
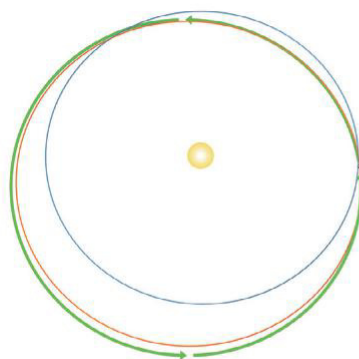
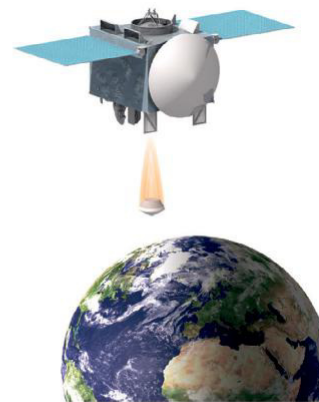
Un fenomeno noto come effetto Yarkovsky aiuterà a determinare se nel 2135 Bennu passerà attraverso un buco della serratura e, se sì, verso dove proseguirà. Questo effetto fa sì che un asteroide si avvicini o si allontani dal Sole, e ha deviato l'orbita di Bennu di circa 160 chilometri dal 1999, quando è stato scoperto. Un effetto analogo ha anche aumentato la velocità di rotazione di Bennu, conferendo all'asteroide la forma di una trottola. OSIRIS-REx misurerà con una precisione senza precedenti i fattori che contribuiscono a questi effetti.

Luglio 2020

2,5 anni

Fine 2023

Illustrazione di Bryan Christie

Dalle origini della vita all'economia extraterrestre

Il viaggio di OSIRIS-REx è cominciato nella notte tra 8 e 9 settembre, quando la sonda è stata lanciata da Cape Canaveral, in Florida, su un razzo Atlas V. Attraverserà il sistema solare per quasi due anni, prima di arrivare a Bennu nell'agosto 2018. A quel punto gli orbiterà attorno per più di tre anni, mappandolo accuratamente e raccogliendo, alla fine, un campione del peso di almeno 60 grammi.

I campioni riportati da OSIRIS-REx registreranno un intervallo di tempo assai esteso, da prima che esistesse il sistema solare ai giorni nostri. I minerali più antichi di Bennu saranno microscopici granelli «presolari» che si formarono nei venti stellari emanati da astri morenti. In seguito questi granelli furono incorporati nel Sole e nei pianeti. I componenti più recenti di Bennu saranno minerali e composti alterati da impatti di micrometeoriti, raggi cosmici e brillamenti solari. Gli studi di OSIRIS-REx su questi fenomeni di «invecchiamento» spaziale su un asteroide di carbonio saranno un'impresa senza precedenti.

Come per gli altri asteroidi a base di carbonio, però, il grosso del materiale di Bennu sarà composto da molecole organiche e minerali argillosi ricchi di acqua, le stesse sostanze che si pensa abbiano fatto da materia prima per DNA, RNA, proteine e altri costituenti della vita sulla Terra. Una parte dell'acqua di Bennu è stata liquida, un tempo, mantenuta in questo stato dal calore dell'interno dell'asteroide, dovuto al decadimento radioattivo di isotopi con vita breve come alluminio-26 e ferro-60. Sulla Terra antichissima, prebiotica, deve essere precipitato un numero immane di asteroidi a base di carbonio, ma non si può capire facilmente rimanendo sul nostro pianeta se furono veramente gli asteroidi ad allestire la ricetta per la vita: qui non ci sono rocce inalterate abbastanza vecchie per darci la risposta.

Su Bennu decenni di impegno culmineranno in un atto che durerà appena cinque secondi: una manovra «toccata e fuga» per prelevare un campione dalla superficie dell'asteroide

OSIRIS-REx non è solo una missione per scoprire le nostre origini più remote; raccoglierà anche informazioni importanti per il nostro futuro. Varie aziende e nazioni considerano lo sfruttamento minerario degli asteroidi come soluzione alla scarsità di risorse sia sulla Terra sia fuori di essa, studiando modi per estrarre metalli preziosi da usare sul nostro pianeta o per sfruttare l'acqua ricavata dal ghiaccio per produrre nello spazio carburante per razzi. Grazie alla sua capacità di farsi strada e mappare un asteroide, OSIRIS-REx servirà come precursore di future missioni minerarie.

La minaccia di Bennu

Sebbene non sia l'unico obiettivo della missione, l'importanza di OSIRIS-REx per migliorare le previsioni degli impatti degli asteroidi e i metodi per prevenirle è impareggiabile. Determinare se un asteroide colpirà la Terra richiede una misurazione estremamente precisa dell'orbita dell'oggetto. Per renderci conto della difficoltà dell'impresa, consideriamo distanze e forze in gioco: Bennu compie un'orbita attorno al Sole ogni 1,2 anni, con una velocità orbitale di più di 28 chilometri al secondo, e si avvicina alla Terra ogni sei anni. In ogni orbita l'asteroide percorre più di un miliardo di chilometri; nel punto più lontano si trova a più di 340 milioni di chilometri dalla Terra.

Dato che passa periodicamente vicino al nostro pianeta, gli astronomi hanno potuto studiare l'orbita di Bennu abbastanza accuratamente da farne quella registrata con maggior precisione nei cataloghi di asteroidi. Il margine di errore sul semiasse maggiore, il raggio dell'orbita lungo i due punti più distanti, è di appena sei metri su una distanza totale di 168.505.699,049 chilometri: è come misurare la distanza fra New York e Los Angeles con una precisione di circa un terzo di millimetro. Ma da soli i dettagli dell'orbita non bastano, perché molte forze esterne possono modificare l'orbita di un asteroide.

Per prevedere la traiettoria di Bennu la squadra di OSIRIS-REx usa modelli assai accurati per calcolare l'influenza di tutte le forze sull'orbita dell'asteroide. Questi modelli devono tenere conto degli effetti gravitazionali di Sole, Luna e degli otto pianeti, nonché degli asteroidi più grandi e del pianeta nano Plutone. Addirittura lo schiacciamento polare della Terra ha un effetto, perché induce variazioni non trascurabili sulla traiettoria di un asteroide che le passa vicino. I modelli prevedono che nel 2135 Bennu passerà a meno di 300.000 chilometri dalla Terra, ma quello che accadrà dopo è più difficile da prevedere. Una cosa è certa: se Bennu, nel suo passaggio del 2135, attraverserà uno fra vari specifici «buchi della serratura» attorno alla Terra, gli effetti gravitazionali accumulati lo porranno sulla strada per colpire il pianeta verso la fine del XXII secolo.

Non ne sappiamo abbastanza di Bennu per prevedere se passerà effettivamente per una di queste zone. Attualmente calcoliamo una probabilità di circa 1/10.000 per un impatto nel 2196; mettendo in tabella tutti i potenziali impatti con la Terra si ottiene una probabilità complessiva di circa 1/2700 in un momento compreso fra il 2175 e il 2196. D'altronde pare che Bennu abbia più o meno la stessa probabilità di essere espulso dal sistema solare interno che di colpire la Terra. Se evita questi due eventi, ha una probabilità quasi del 50 per cento di cadere prima o poi nel Sole, e una lievemente inferiore di colpire Venere. In alternativa – ma queste prospettive sono assai meno verosimili – potrebbe colpire Mercurio, Marte o Giove. Modelli migliori dell'interno, della superficie e delle interazioni orbitali di Bennu – modelli che OSIRIS-REx potrà fornire – ci permetteranno di aumentare la precisione delle nostre previsioni.

Ma il contributo principale di OSIRIS-REx allo studio degli asteroidi sarà l'analisi di un fenomeno non gravitazionale scoperto di recente, detto effetto Yarkovsky (*si veda il box nelle pagine precedenti*). L'effetto Yarkovsky descrive la forza che agisce su un piccolo asteroide quando assorbe la luce del Sole e ne irraggia l'energia nello spazio sotto forma di calore. Quando non è distribuita uniformemente su tutto l'asteroide, questa radiazione termica agisce come un piccolissimo propulsore, deviando l'asteroide e modificandone nel corso del tempo l'orbita. Gli asteroidi con una rotazione prograda (cioè che ruota da ovest a est, come la Terra) tendono ad allontanarsi dal Sole sotto l'effetto di questa spinta, mentre quelli con una rotazione retrograda, come Bennu, si spostano verso l'interno.

Abbiamo già usato telescopi terrestri e spaziali per misurare l'effetto Yarkovsky su Bennu, scoprendo che la sua posizione è variata di più di 160 chilometri dalla sua scoperta nel 1999. Que-

Le dimensioni di Bennu, la sua composizione primordiale e la traiettoria potenzialmente pericolosa per la Terra ne fanno un obiettivo interessante e accessibile per missioni di raccolta di campioni, di cui OSIRIS-REx sarà forse solo la prima.

Cortesia NASA Goddard Space Flight Center

ste misurazioni rivelano che Bennu ebbe probabilmente origine in un punto esterno della fascia degli asteroidi, da qualche parte fra Marte e Giove, prima di migrare verso l'interno fino alla posizione attuale. Anche l'illuminazione solare irregolare e la reirradiazione termica possono influire sulla rotazione di un asteroide, il che spiega facilmente la forma a trottola di Bennu, che deriva dal fatto che la luce del Sole incide asimmetricamente sulla superficie dell'asteroide, incrementandone sul lungo periodo la velocità di rotazione e sospingendo costantemente materiale superficiale dai poli all'equatore. La ridistribuzione complessiva che si ottiene così potrebbe aver portato alla superficie materiale fresco, non «invecchiato», ideale per avere campioni puri.

OSIRIS-REx svolgerà uno studio particolareggiato dell'effetto Yarkovsky misurando rotazione, area della superficie ed emissioni termiche di Bennu; rileveremo anche direttamente l'accelerazione di Yarkovsky nel corso dell'incontro. Questo studio perfezionerà la nostra teoria di questo effetto e ci permetterà di incorporarla nelle valutazioni del rischio di impatto per tutti gli asteroidi vicini alla Terra. Inoltre, capire meglio questo fenomeno si dimostrerà vitale per le future missioni di deviazione di asteroidi, che potrebbero sfruttare l'effetto per contribuire a dare una spintarella a un pericoloso macigno spaziale verso una traiettoria diversa, meno minacciosa.

Il gran finale

Dall'inizio alla fine – vale a dire dalle origini di poco successive al 2000 alla sua conclusione dopo il 2020 e poi al suo retaggio per varie generazioni – OSIRIS-REx rappresenterà decenni di lavoro e centinaia di milioni di dollari di investimenti. Tutto questo impegno e questa spesa culmineranno in un solo atto che durerà appena cinque secondi: la manovra «toccata e fuga» che la sonda dovrà effettuare per prelevare un campione dalla superficie dell'asteroide.

OSIRIS-REx otterrà il campione con uno strumento che si chiama Touch-and-Go Sample Acquisition Mechanism (TAGSAM). Il TAGSAM è composto da due componenti principali, una testa campionatrice e un braccio articolato di posizionamento. La testa acquisisce il campione principale emettendo un getto di azoto che «fluidifica» la regolite e la spinge in una camera di raccolta. Il braccio articolato dispone la testa per la raccolta, la riporta in posizione per la documentazione visuale e la pone in una capsula per il rientro a Terra. Come riserva, 24 distinte superfici di contatto sulla base del TAGSAM acquisiranno materiale a grana fine a contatto con la superficie dell'asteroide.

La maggior parte della permanenza triennale di OSIRIS-REx vicino a Bennu sarà in preparazione di questa manovra finale. Con le sue telecamere, laser, antenne radio e spettrometri, la sonda eseguirà molteplici ricognizioni globali ad alta risoluzione dell'asteroide, grazie a cui costruiremo una «mappa del tesoro» che identificherà un sito primario per la raccolta dei campioni e uno di riserva, in base a sicurezza, facilità stimata del prelievo e valore scientifico presunto del materiale raccolto. Le regioni più sicure da visitare saranno presumibilmente vicine all'equatore, dove per la sonda sarà più facile uguagliare la velocità dell'asteroide in rotazione per toccare la superficie. I siti di maggior valore scientifico dovrebbero contenere una varietà di campioni organici, minerali ricchi di acqua e altri materiali che ci possano aiutare a capire se gli asteroidi contribuirono alle origini della vita sulla Terra.

Quando la squadra di OSIRIS-REx avrà scelto il sito primario di raccolta e avrà effettuato numerose prove, comincerà la vera e propria manovra «tocca e vai». A quel punto Bennu si troverà probabilmente verso la parte più lontana dell'orbita, a più di 18 minuti luce dalla Terra. Una volta inviato il comando per avviare la manovra, non potremo far altro che metterci comodi e aspettare che si svolga il processo automatizzato. Nel corso di varie ore, con una serie di tre accensioni propulsive, OSIRIS-REx uscirà dall'orbita, si allineerà con il sito di campionamento dopodiché scenderà lentamente verso la superficie dell'asteroide. Il contatto si svolgerà a una velocità massima di dieci centimetri al secondo. Il TAGSAM avrà cinque secondi per raccogliere i campioni prima che la sonda riparta da Bennu e si innalzi fino a un'altezza di circa dieci chilometri sopra l'asteroide, dove effettuerà una serie di test per verificare che il campionamento abbia avuto successo. Il TAGSAM contiene azoto a sufficienza per tre tentativi; se fallirà tre volte, sarà un nulla di fatto.

Se tutto andrà bene, nel 2021 la sonda riaccenderà i motori principali per riportare sulla Terra il suo prezioso carico. Alla fine del 2023, subito dopo aver lasciato cadere nell'atmosfera terrestre la capsula per il rientro dei campioni, OSIRIS-REx riaccenderà i motori per entrare in un'orbita «cimitero» stabile attorno al Sole. La capsula con i campioni colpirà la sommità dell'atmosfera a una velocità maggiore di 45.000 chilometri orari, protetta da uno scudo termico che dissiperà più del 99 per cento dell'energia al rientro. A una quota di tre chilometri la capsula aprirà un paracadute per atterrare lentamente nel West Desert dello Utah, sette anni dopo l'inizio del viaggio. Una squadra di specialisti recupererà il campione e lo trasporterà al Johnson Space Center della NASA, affinché venga conservato a lungo termine e distribuito in modo che la comunità scientifica globale possa studiarlo per generazioni a venire. ■

PER APPROFONDIRE

Meteorites and the Early Solar System II. Lauretta D.S. e McSween H.Y. (*a cura*), University of Arizona Press, 2006.

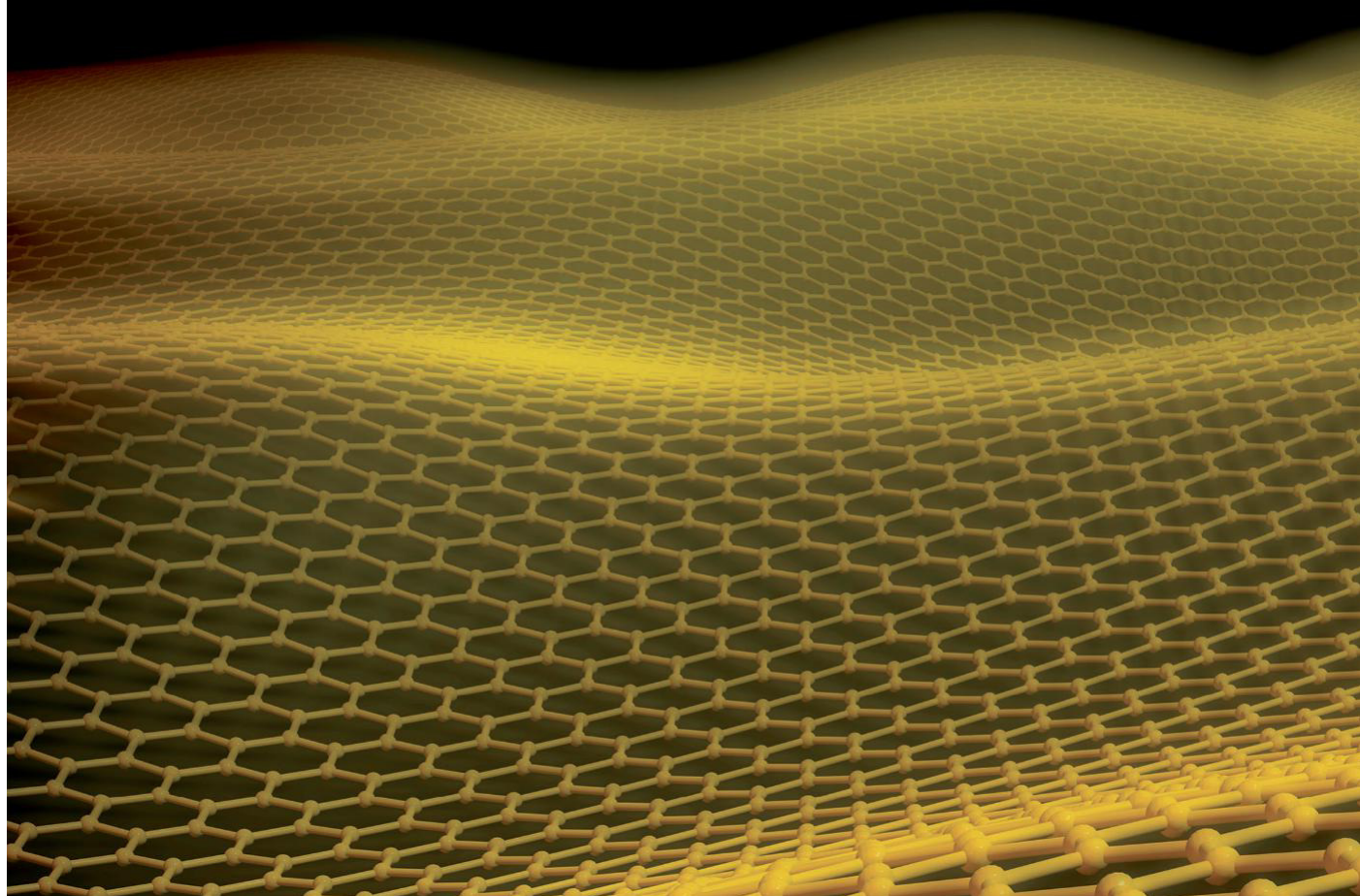
The OSIRIS-REx Target Asteroid (101955) Bennu: Constraints on Its Physical, Geological, and Dynamical Nature from Astronomical Observations. Lauretta D.S. e altri, in «Meteoritics & Planetary Science», Vol. 50, n. 4, aprile 2015.

I segreti dei meteoriti primitivi. Rubin A.E., in «Le Scienze» n. 536, aprile 2013.

Oceani dal cielo. Jewitt D. e Young E.D., in «Le Scienze» n. 561, maggio 2015.

SCIENZA DEI MATERIALI

Benvenuti a

di Vincenzo Palermo e Francesco Bonaccorso

La riscoperta di un gran numero di materiali bidimensionali rischia di far diventare il grafene un materiale antico?

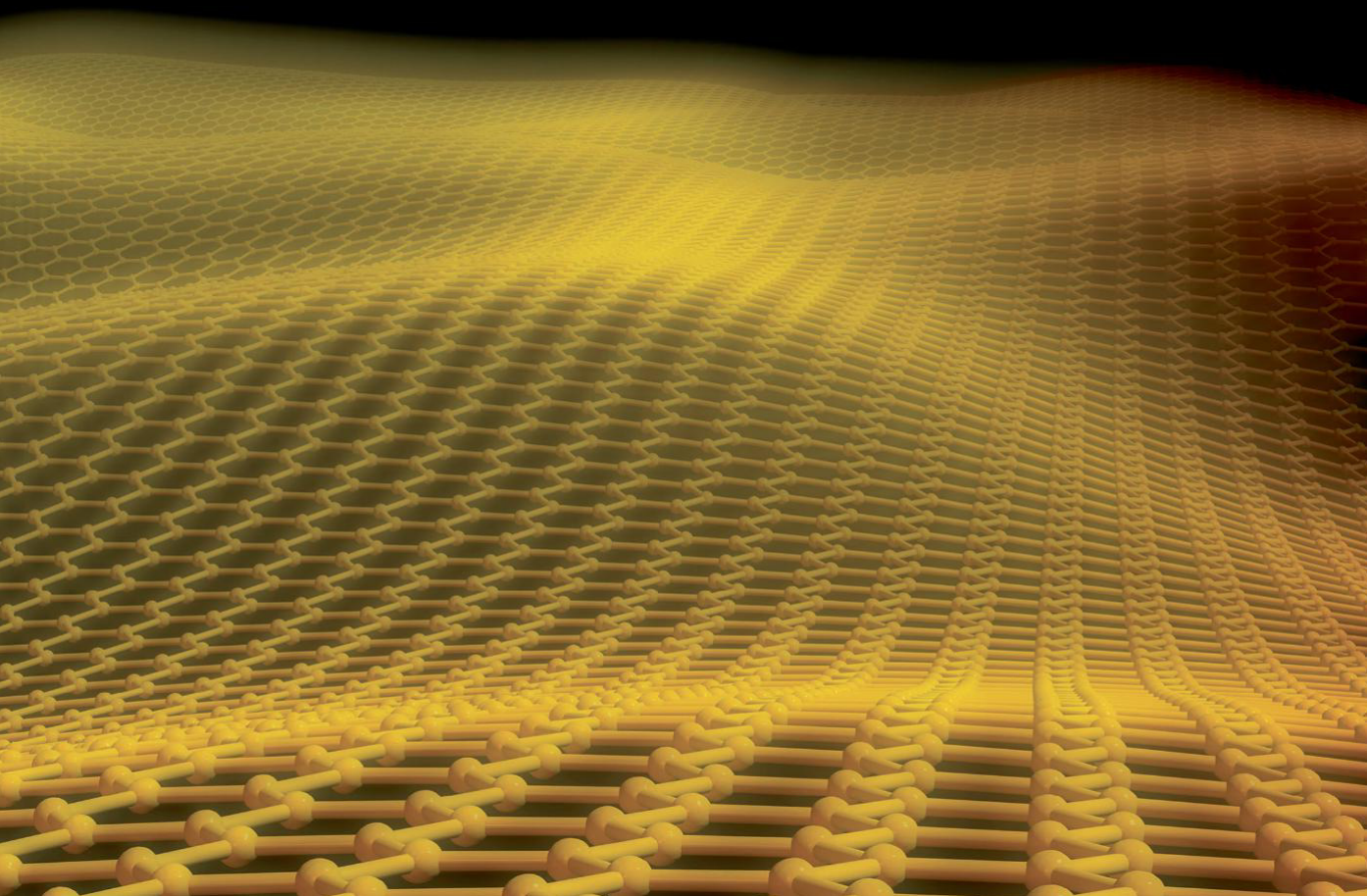
IN BREVE

Nel 2004 è stata dimostrata la possibilità di ottenere in modo relativamente semplice il grafene, materiale bidimensionale per eccellenza, composto da uno strato monoatomico di atomi di carbonio.

Da allora la ricerca nel campo dei materiali 2D ha fatto enormi passi avanti e oggi studia centinaia di questi materiali, anche compositi, formati da specie atomiche diverse, e inorganici, senza carbonio.

Questi nuovi materiali 2D potrebbero scalzare il grafene dal ruolo di re del mondo bidimensionale, e sono interessanti soprattutto per applicazioni nell'elettronica e nelle telecomunicazioni, ma anche per la tecnologia in ambito biomedicale ed energetico.

Flatlandia

In due dimensioni. Struttura simulata al computer di un foglio di grafene, materiale composto da atomi di carbonio disposti in un reticolo a celle esagonali spesso un solo atomo.

Alfred Pasieka/SPL/Contrasto

Quando nel 2009 uscì *AVATAR*, il cinema sembrava vivere una piccola rivoluzione, passando dal 2D alla tecnologia 3D. Gli spettatori potevano finalmente immergersi nelle storie, sperimentando la visualizzazione tridimensionale di ambienti, personaggi e colpi di scena. Nel nostro settore, la scienza dei materiali, succedeva l'opposto: il mondo piatto a due dimensioni si dimostrava essere molto più entusiasmante del «classico» mondo in 3D. Stavamo scoprendo una Flatlandia, dal nome dell'omonimo romanzo del britannico Edwin Abbott pubblicato nel 1884, dove le superfici degli oggetti, anziché gli spessori, garantivano esperienze nuove.

I materiali hanno sempre tre dimensioni nello spazio; qualsiasi cosa noi possiamo toccare o vedere ha una larghezza, un'altezza e una profondità ben precise. Per esempio il silicio usato in tutti i computer è un materiale cristallino che si estende in modo uguale in tutte e tre le direzioni dello spazio.

Quando invece una delle tre dimensioni di un oggetto diventa nanoscopica (cioè dell'ordine del miliardesimo di metro), tendiamo a considerarla trascurabile, sebbene proprio la restrizione di una dimensione può conferire nuove e a volte eccezionali proprietà al materiale.

È questo il caso, per esempio, dei polimeri, lunghe catene di atomi che sono i costituenti della comune plastica. I polimeri hanno lunghezze di centinaia di nanometri ma sono spessi un solo atomo, e possono essere considerati oggetti unidimensionali (1D). La loro struttura non fu subito chiara ai chimici dell'inizio del secolo scorso, abituati ai materiali classici, come roccia o metallo, usati fino ad allora. Si pensava che i polimeri fossero composti da micelle, fragili strutture globulari che si trovano per esempio nel sapone. Solo nel 1920, grazie all'intuizione del chimico tedesco Hermann Staudinger, fu chiarito che i polimeri sono catene lineari di atomi, simili a spaghetti nanoscopici. Questa loro caratteristica ha permesso di creare una gran quantità di polimeri, allineando le singole catene in catene più lunghe, fatte di tanti tipi diversi di atomi e molecole.

Vincenzo Palermo è ricercatore all'Istituto per la sintesi organica e la fotoreattività del Consiglio nazionale delle ricerche e coordinatore delle ricerche sui materiali compositi della Flagship Grafene. Suoi interessi sono scienza dei materiali, nanotecnologia e chimica delle superfici. Inoltre, scrive di storie di scienza per la rivista «Sapere».

Francesco Bonaccorso è ricercatore ai Graphene Labs dell'Istituto italiano di tecnologia. È stato il responsabile della stesura della roadmap scientifica e tecnologica della Flagship Graphene. La sua attività di ricerca si concentra sullo sviluppo di nuovi materiali a base di grafene, con applicazioni nel campo dei compositi polimerici, optoelettronica e conversione ed immagazzinamento di energia.

Le prime righe

Possiamo pensare ai polimeri come alle prime righe scoperte di quella Flatlandia in cui siamo immersi oggi, dove l'essere piatto, ovvero più largo che spesso, è un vantaggio. Questa Flatlandia abbiamo iniziato a vederla agli inizi del XXI secolo, con l'isolamento del grafene dalla grafite: un foglio composto da atomi di carbonio disposti con geometria esagonale e sottile quanto un singolo atomo.

Un foglio di grafene è spesso un solo atomo, ma può essere largo decine di micrometri, o persino decine di centimetri quando sintetizzato su substrato; il suo spessore può quindi arrivare a essere un miliardo di volte minore della sua larghezza.

L'isolamento di pochi strati di grafene dalla grafite è stato dimostrato nel 2004 su «Science» da due scienziati russi, Konstantin Novoselov e Andre Geim, entrambi dell'Università di Manchester. Da allora i due fisici ne hanno studiato le caratteristiche fisiche, studi per i quali nel 2010 hanno ricevuto il premio Nobel per la fisica; un momento importante nella storia di Flatlandia.

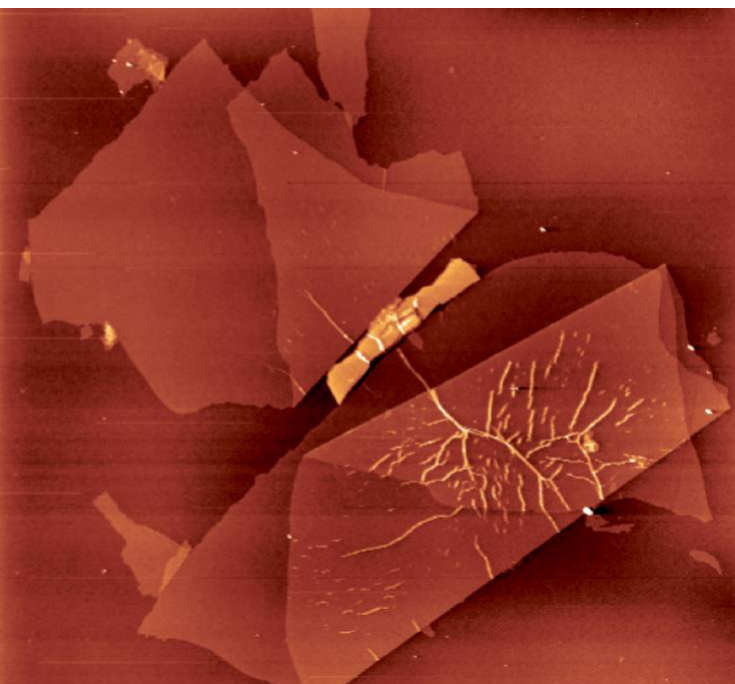
Vari scienziati avevano tentato di esfoliare la grafite per circa due secoli, ma il metodo di Geim e Novoselov era particolarmente facile, perché usava nastro adesivo (*si veda il box a p. 56*); un metodo, usato già nei primi anni sessanta da Robert Frindt dell'Università di Cambridge per l'esfoliazione di altri materiali stratificati, che ha permesso a decine di ricercatori di lanciarsi nello studio di questo nuovo materiale.

Oggi si produce il grafene usando metodi molto più raffinati del nastro adesivo. Nel 2005 McEun della Cornell University ha proposto l'esfoliazione della grafite in liquido mediante l'uso di onde a ultrasuoni, un metodo trasferibile a livello industriale. L'anno successivo il gruppo di Klaus Müllen del Max-Planck-Institut für Polymerforschung ha ottenuto la sintesi chimica di «nanografene», ovvero di strati monoatomici di carbonio aventi dimensioni laterali di qualche nanometro, partendo da idrocarburi policiclici aromatici come blocchi costituenti. Nel 2009 Luigi Colombo della Texas Instruments e Rodney S. Ruoff dell'Università di Austin hanno dimostrato di poter produrre film di grafene su larga scala crescendoli su superfici metalliche ad alta temperatura; l'anno successivo Samsung ha portato a livello industriale questa metodologia. Nel 2012 Sony ha risposto all'azienda concorrente creando pellicole di grafene larghe 23 centimetri e lunghe 100 metri, dimostrando la fattibilità di una produzione chiamata *roll to roll*. Questi film di grafene sono poi stati usati per la realizzazione di schermi flessibili, cosa impossibile da realizzare con i materiali attuali. In futuro, elettrodi trasparenti e flessibili a base di grafene potrebbero essere usati negli schermi di cellulari, *tablet* e dei più moderni computer, rendendoli magari flessibili e allungabili.

Una volta studiato il grafene, noi scienziati abbiamo iniziato a imparare a progettare e realizzare altre strutture atomiche in due dimensioni. Nuovi tipi di cristalli bidimensionali, fatti di atomi assemblati in fogli piani. Nel nostro lavoro quotidiano su questi materiali abbiamo trovato conferma, nostro malgrado, di una battuta dell'austriaco Wolfgang Pauli, premio Nobel per la fisica: «Dio ha fatto la materia, e il diavolo le superfici».

Il capostipite

Ma perché mai questi materiali dovrebbero essere interessanti? Innanzitutto per gli spettacolari fenomeni di natura quantistica che manifestano, ma anche e soprattutto per le numerose potenzialità tecnologiche e quindi applicazioni che offrono.

Nel grafene gli elettroni, i portatori di carica elettrica, che viaggiano lungo il sottile foglio si comportano come particelle senza massa, con proprietà più simili a quelle di particelle di luce, i fotoni, che a cariche elettriche. In questo mondo bidimensionale gli elettroni sono influenzati sia dalle regole della meccanica quantistica sia da quelle della relatività di Albert Einstein, un fatto questo che prima del grafene avveniva solo nei grandi acceleratori di particelle. A causa della sua struttura atomica il grafene è un materiale estremamente forte, per esempio ha una resistenza alla trazione di 100 gigapascal e un modulo di Young, o modulo di elasticità che esprime il rapporto tra deformazione e tensione,

Al microscopio. Fogli di ossido di grafene ottenuti con un microscopio a forza atomica. I materiali 2D possono essere spessi un solo atomo, ma larghi centinaia di micrometri. Il lato dell'immagine è di circa 80 micrometri, cioè 0,08 millimetri.

Cortesia Istituto italiano di tecnologia

di 1 terapascal (cinque volte quello dell'acciaio). Queste proprietà rendono il grafene un materiale estremamente interessante perché può essere accoppiato con materiali molto leggeri come le matrici polimeriche. Inoltre, essendo un materiale «tutto superficie», il grafene rappresenta una membrana, dallo spessore limite monoatomico, che è flessibile e anche allungabile.

Dal punto di vista pratico queste proprietà si traducono negli usi più disparati. Il fatto che gli elettroni viaggino ad altissima velocità all'interno del materiale permette di realizzare, in linea di principio, dispositivi elettronici assai più veloci degli attuali.

Inoltre flessibilità e resistenza meccanica peculiari rendono il grafene un candidato promettente per realizzare dispositivi impossibili da ottenere con i materiali convenzionali come per esempio il silicio. Sistemi nano-elettromeccanici non lineari, *touch screen* flessibili, dispositivi elettronici flessibili e indossabili sono solo alcune applicazioni esemplificative.

Inoltre c'è grande entusiasmo sulle possibili applicazioni del grafene e in particolare sulla possibilità di combinare grafene con i polimeri per creare le superplastiche del XXI secolo. Questo obiettivo sta suscitando un grande interesse non solo tra centinaia di ricercatori in tutto il mondo, ma anche a livello di grandi e piccole industrie, che hanno iniziato o stanno iniziando a investire su questo materiale. Si possono trovare già in commercio prodotti come *touch-panel* per dispositivi cellulari (prodotti da un'azienda cinese di nome Moxi), racchette da tennis, sci, una pasta termica per il raffreddamento delle CPU dei computer, caschi da bici oppure gomme da bicicletta e anche da automobili e camion, per citarne alcuni.

Nonostante abbia incredibili proprietà ottiche, elettriche, termiche e meccaniche, si è presto capito che il grafene non è un materiale onnipotente, ma ha alcune limitazioni. È difficile, per esempio, modificare in maniera controllata e a piacere sia la sua conducibilità termica sia quella elettrica, oppure le sue proprietà ottiche. Per esempio i transistor a base di grafene sono sì più veloci di quelli del silicio (possono arrivare a frequenze di lavoro di centinaia di gigahertz, molto maggiori di quelle dei nostri computer) ma sfortunatamente sono difficili da accendere e spegnere, il famoso *on-off*, perché il grafene non è un semiconduttore come lo è invece il silicio convenzionale, che nello stato di «off» blocca il passaggio della corrente elettrica.

I grafeni inorganici

Fortunatamente il grafene non è l'unico materiale bidimensionale esistente in natura o che può essere prodotto per via sintetica. Centinaia di altri materiali possono essere isolati in forma di foglietti monoatomici.

Come nel caso dei polimeri lineari classici, l'uso di atomi diversi dal carbonio crea nuove proprietà. La famiglia più famosa dei materiali bidimensionali è quella dei calcogenuri, composti a base di zolfo o selenio uniti a metalli vari come molibdeno, titanio o afnio.

Questi materiali 2D hanno una struttura più complessa di quella del grafene, sembrano microscopici sandwich, con due strati esterni fatti di atomi di zolfo o selenio tenuti assieme da uno strato interno di atomi metallici. Un tipico materiale 2D, molto studiato, è il disolfuro di molibdeno (MoS_2) con due strati esterni di zolfo legati a uno strato interno di molibdeno.

Curiosamente questi materiali 2D a base di zolfo e metalli furono scoperti con uno studio pubblicato nel 1963 sui «Proceedings of the Royal Society A» da Robert F. Frindt, all'epoca all'Università di Cambridge, quindi molto prima del grafene, ed erano disponibili sin dagli anni sessanta. L'isolamento del grafene nel 2004 ha visto riemergere l'interesse verso questi materiali. Comunque, dopo il 2004 la comunità scientifica si è concentrata principalmente sul grafene, imparando con ritardo ad apprezzare i suoi «cugini minori», che di recente hanno dimostrato di avere proprietà molto interessanti e complementari a quelle del più «famoso» grafene.

Materiali come il disolfuro di molibdeno sono un bellissimo esempio di come la geometria (o meglio, la simmetria) possa influire sulla fisica. Nella loro forma più comune, questi materiali si presentano composti da milioni di strati sovrapposti, con una struttura «centrosimmetrica», cioè perfettamente simmetrica rispetto gli assi cartesiani X, Y e Z.

Un singolo strato di MoS_2, invece, non presenta più questa simmetria, e questo ne modifica radicalmente le proprietà. Un foglio di MoS_2, per esempio, interagisce con gli elettroni non solo in base alla loro energia, ma anche in base al loro spin. Lo spin è una proprietà di particelle atomiche che può essere vista come una sorta di «rotazione quantistica» della particella su se stessa ed è alla base di una nuova branca dell'elettronica, detta spintronica, che promette di creare computer superpotenti.

Al di là degli effetti esotici come lo spin, il passaggio da cristallo (3D) a monostrato (2D) per il molibdeno disolfuro significa una migliore capacità di emettere la luce.

I materiali emettono luce quando un elettrone perde energia, passando da un livello ad alta energia a uno a più bassa energia. Nel cristallo 3D di MoS_2 questi livelli (chiamati banda di conduzione» e «banda di valenza») non sono allineati tra loro, e questo riduce di molto la possibilità di emettere luce. Anche il silicio ha un problema simile, ed è la ragione per cui non è usato per la re-

I principali metodi di produzione del grafene

Nel 2004 è stato dimostrato che è possibile produrre grafene dall'esfoliazione meccanica della grafite con nastro adesivo (1), una scoperta premiata con il Nobel per la fisica. Da allora sono state sviluppate altre tecniche per ottenere questo materiale bidimensionale di solo carbonio. Una delle più importanti prevede l'esfoliazione della grafite in liquido mediante l'azione meccanica fornita da ultrasuoni (2). Un'altra coinvolge la sintesi chimica strati monoatomici di carbonio (3) partendo dall'assemblaggio di idrocarburi policiclici aromatici. Un'altra ancora delle tecniche principali per il grafene prevede la deposizione da fase vapore di idrocarburi dissociati ad alta temperatura (circa 1000 gradi) da substrati metallici che agiscono da catalizzatori (4). Su substrati aventi bassa solubilità di atomi di carbonio, come il rame, la crescita è monoatomica, cioè a singolo strato.

alizzazione di diodi laser o di LED. Quando il MoS_2 diventa un monostrato atomico, invece, il cambio di geometria provoca un cambio di proprietà: le bande di conduzione e di valenza sono allineate, creando un *gap* diretto che permette agli elettroni di saltare in maniera efficiente, emettendo luce, parecchi ordini di grandezza superiore rispetto al materiale 3D.

Sembra un paradosso, ma un singolo strato di MoS_2 produce molta più luce di tanti strati sovrapposti. Infatti i materiali a gap diretto, come l'arseniuro di gallio, sono molto più efficienti nell'emissione di luce rispetto a quelli con gap indiretto, come per esempio il silicio.

E questo non vale solo per il MoS_2. Tanti altri materiali cambiano radicalmente le loro proprietà passando da 3D a 2D. Ce n'è abbastanza per far divertire i fisici per i prossimi dieci anni.

Centinaia di materiali diversi possono essere prodotti in foglietti 2D nanometrici usando semplice nastro adesivo. A differenza del grafene, che è un semimetallo, gli altri materiali 2D possono essere metallici, semiconduttori o anche isolanti. Inoltre il grafene è quasi trasparente, assorbendo il 2,3 per cento della radiazione luminosa incidente, benché su un ampio intervallo spettrale che va dall'ultravioletto all'infrarosso, passando per il visibile. Per esempio, la grafite è nera poiché è formata da migliaia di strati di grafene sovrapposti. Contrariamente, altri materiali 2D assorbono la luce a lunghezze d'onda incidenti precise, e quindi assumono diverse colorazioni andando dal bianco al blu, al verde, al giallo, all'arancione.

Eterostrutture bidimensionali

Questi nuovi materiali non sono solo centinaia, è possibile anche impilarli l'uno sull'altro, creando innumerevoli combinazioni di materiali compositi in 2D. Si ottiene una sorta di torta multistrato in cui è possibile sigillare un foglietto conduttivo in mezzo a due foglietti isolanti, oppure mettere a contatto due fogli semiconduttori con un foglietto conduttivo intermedio, tutto racchiuso nello spessore di pochi atomi.

Questo tipo di strutture è interessante soprattutto per le applicazioni che si trovano nella microelettronica, ambito in cui la miniaturizzazione ha raggiunto un livello estremo. A causa delle ridotte dimensioni dei transistor che compongono i nostri computer, la microelettronica moderna è diventata perlopiù fisica delle

Danilo Sossi su indicazione degli autori

FLAGSHIP GRAPHENE

Materiali 2D, una visione europea

A marzo 2015 il consorzio della Flagship Graphene, iniziativa della Commissione Europea di cui Istituto italiano di tecnologia e Consiglio nazionale delle ricerche sono capofila in Italia, ha pubblicato una *roadmap* per delineare le linee guida per lo sviluppo della ricerca e del trasferimento tecnologico del grafene e di altri materiali sottili (bidimensionali), almeno per i prossimi dieci anni. Il documento illustra la realizzazione di nuovi materiali basati sul grafene o altri materiali bidimensionali con processi riproducibili su scala industriale e sicuri per la salute e l'ambiente, e la loro applicazione in nuovi dispositivi. Sono otto le aree di applicazione identificate come di interesse per lo sviluppo dell'economia europea, e per cui è stato tracciato un piano di immissione nel mercato, dallo studio in laboratorio alla realizzazione del prototipo: produzione, elettronica analogica e digitale, elettronica flessibile, fotonica ed optoelettronica, sensori, conversione e immagazzinamento di energia, materiali compositi e dispositivi biomedici.

Secondo la roadmap i primi prototipi industriali interessanti nei prossimi 3-5 anni potrebbero arrivare nel campo di materiali compositi, biosensori, optoelettronica ed energia, per esempio celle solari, batterie e supercondensatori. I dispositivi per applicazioni mediche e nell'elettronica per l'immagazzinamento di dati richiederanno invece un arco temporale di una decina d'anni per il loro sviluppo.

Grazie alla roadmap, la ricerca su grafene e materiali 2D ha obiettivi chiari: sviluppare dispositivi elettronici flessibili, dagli schermi alle batterie, con maggiore efficienza e minore impatto ambientale; sviluppare memorie ad alta prestazione e capacità; nuovi materiali compositi con migliori proprietà termiche e meccaniche, come flessibilità, robustezza e leggerezza. L'elettronica, per esempio, non sarà solo più leggera e tascabile, ma anche più fredda, senza bisogno di ventole di raffreddamento perché un materiale che è tutto superficie disperde meglio il calore. I materiali 2D potranno, inoltre, essere usati per protesi biomediche a basso rigetto: dall'impianto osseo a quello cerebrale. Altri dispositivi potranno essere usati nelle telecomunicazioni per trasmettere più informazione in meno tempo.

superfici e purtroppo le superfici sono molto più difficili da controllare a livello atomico rispetto a un cristallo 3D. Negli ultimi anni le industrie del settore hanno speso miliardi di dollari per ridurre lo spessore dello strato isolante dei transistor sino a farlo diventare di pochi atomi. Nel loro tentativo sempre più estremo di miniaturizzare i transistor, per aumentare la potenza di calcolo inseguendo la famosa «legge di Moore», ovvero l'idea secondo la quale il numero di transistor dei circuiti integrati raddoppi circa ogni anno, gli ingegneri stanno trasformando tutti i materiali in superfici 2D, proprio quelle in cui, secondo Pauli, si «annida il diavolo».

Con i nuovi materiali bidimensionali possiamo facilmente ottenere superfici uniformi spesse un solo atomo, per esempio strati isolanti di nitruro di boro, oppure semiconduttori, creando strutture ordinate metallo-isolante-metallo, oppure isolante-metallo-semiconduttore-metallo-isolante, e ancora metallo-isolante-semiconduttore- isolante-metallo. Le potenzialità di queste eterostrutture 2D sono enormi, e permettono già la realizzazione di dispositivi come transistor e sensori ottici, con possibili applicazioni in fotodiodi, celle solari e rilevatori a banda larga, capaci di lavorare anche nella regione spettrale del terahertz, una frequenza molto importante, per esempio, per gli scanner adibiti ai controlli di sicurezza antiterrorismo.

Purtroppo i processi di produzione di strutture atomiche multistrati 2D (eterostrutture) sono ancora in fase embrionale, essendo principalmente basati sull'esfoliazione dei materiali stratificati, fino al raggiungimento del monostrato atomico, seguito dal vero e proprio assemblaggio che è effettuato mediante metodo di trasferimento strato dopo strato usando micromanipolatori e sotto un microscopio ottico. A parte la lentezza del processo, il problema principale risiede nel fatto che il processo non può essere automatizzato. Ancora più critica, oggi, è la scalabilità di questo approccio. Serviranno comunque parecchi anni di lavoro per avere risultati utili e riproducibili per la realizzazione di eterostrutture 2D.

Un spinta notevole potrebbe essere data dalla crescita sintetica di materiali 2D, per esempio, montando assieme atomi di zolfo, selenio e metalli. La crescita sintetica potrebbe permettere di realizzare eterostrutture deponendo i vari materiali gli uni sugli altri. Ovviamente è più facile a dirsi che a farsi, ma questo è un settore che sta crescendo rapidamente, e potremmo essere solo all'inizio, con potenzialità di sviluppo enormi. Tornando al nostro paragone iniziale, basti pensare che i «vecchi» polimeri 1D non sono realizzati facendo reagire insieme atomi, ma molecole; per esempio polietilene o polistirene, materiali che costituiscono le comuni buste e imballaggi, non si ottengono dalla polimerizzazione di atomi di carbonio, ma di piccole molecole di etilene e stirene.

In generale, il prossimo passo nel settore dei materiali 2D sarà usare piccole molecole che possono essere ordinate delicatamente su una superficie, e poi legarle tra loro formando fogli monoatomici con strutture molto più complesse di quelle del grafene o dei calcogenuri. Questo permetterebbe di avere mosaici di atomi diversi disposti in maniera ordinata con pori nanometrici di dimensione (e forma) controllate, come un nanoscopico merletto. Le applicazioni di questo tipo di materiali 2D in elettronica, ottica o anche solo per il filtraggio di liquidi o gas sono ancora tutte da scoprire. Insomma, a differenza del cinema, nella scienza dei materiali il 2D è molto, molto più eccitante del 3D. ■

PER APPROFONDIRE

Science and Technology Roadmap for Graphene, Related Two-Dimensional Crystals, and Hybrid Systems. Ferrari A.C., Bonaccorso F., Fal'Ko V., Novoselov K.S., Roche S., Bøggild P., Borini S., Koppens F.H., Palermo V., Pugno N. e altri, in «Nanoscale», Vol. 7, n. 11, pp. 4598-4810, 27 marzo 2015.

Nanoscale Mechanics of Graphene and Graphene Oxide in Composites: A Scientific and Technological Perspective. Palermo V., Kinloch I.A., Ligi S. e Pugno N.M., in «Advanced Materials», pubblicato on line il 9 marzo 2016. **DOI: 10.1002/adma.201505469.**

2D-Crystal-Based Functional Inks. Bonaccorso F., Bartolotta A., Coleman J.N., Backes C., in «Advanced Materials» pubblicato on line il 6 giugno 2016. **DOI: adma2015006410.**

Graphene, Related Two-Dimensional Crystals, and Hybrid Systems for Energy Conversion and Storage. Bonaccorso F., Colombo L., Yu G., Stoller M., Tozzini V., Ferrari A.C., Ruoff R.S., Pellegrini V., in «Science», Vol. 347, n. 6217, 2 gennaio 2015. **DOI: 10.1126/science.1246501.**

Laboratorio grafene. Pellegrini V. e Polini M., in «Le Scienze» n. 517, settembre 2011.

Le meraviglie del grafene. Geim A.K. e Kim P., in Le Scienze» n. 478, giugno 2008.

BIOMECCANICA

IL SEGRETO DELLA VELOCITÀ

Nuove conoscenze sulla biomeccanica della corsa potrebbero dare una marcia in più ai velocisti

di Dina Fine Maron

Dina Fine Maron è *associate editor* di «Scientific American».

1

Un venerdì mattina dello scorso febbraio il campione statunitense di velocità Mike Rodgers si è fatto legare a un'imbracatura di sicurezza appesa al soffitto, sopra un *tapis roulant* costruito su misura. «Non è mai caduto nessuno, ma potresti sempre essere il primo», gli è stato detto. Rodgers ha risposto con un mezzo sorriso e si è preparato a correre.

Si stava allenando per i *trial* olimpici. Quel giorno però non stava completando una delle sue solite sedute massacranti in pista o nella sala pesi in palestra: si era presentato invece in un piccolo edificio bianco di Dallas, sulla cui porta spiccava in rilievo la scritta «Locomotor Performance Laboratory».

All'esterno questa struttura non ha niente di speciale: è un'ex tipografia, di fronte a un asilo per cani e a una scuola di yoga. Negli ultimi anni, però, da questo centro della Southern Methodist University sono passate decine di velocisti, o *sprinter*, come Rodgers per ricevere consigli sulla loro tecnica di corsa da Peter G. Weyand, scienziato dello sport, o per aiutarlo nei suoi studi. Weyand ha effettuato quelle che, secondo molti suoi colleghi, sono tra le migliori ricerche sulla biomeccanica dello sprint e su come questi atleti *élite* raggiungano velocità da record. In vista delle Olimpiadi di Rio de Janeiro, le sue scoperte sono state addirittura inserite nell'allenamento dei migliori velocisti statunitensi.

Il cuore dell'operazione è il tapis roulant di Weyand, un macchinario da circa 250.000 dollari equipaggiato con piastre specializzate che misurano la forza esercitata dagli atleti sul terreno durante la corsa. Tre telecamere, disposte intorno alla macchina, rilevano immagini 3D ad alta velocità delle falcate dell'utente. Rodgers spera che tutti questi dati contribuiscano a fargli capire come perfezionare la tecnica e quindi guadagnare frazioni di secondo decisive nei 100 metri.

Vestito con lo stesso tipo di scarpe, maglia e calzoncini elasticizzati e adesivi riflettenti che Weyand fa indossare a tutti i soggetti, Rodgers comincia a correre con falcate lunghe, a poco più di 10 chilometri all'ora, per scaldarsi. Ma presto arriva intorno ai 37 chilometri orari: a questa velocità, il tatuaggio che ha sul polpaccio destro – il personaggio dei cartoni animati Road Runner con sotto la scritta «Prendimi» – diventa sfocato a occhio nudo. L'attrezzatura inserisce le misurazioni in un programma specializzato che traccia un grafico dei suoi movimenti.

Weyand ha studiato più di 120 corridori, fra i quali altri 12 sprinter di livello mondiale, e queste osservazioni hanno contribuito a colmare un'annosa lacuna nelle conoscenze degli scienziati sulla biomeccanica delle corse a velocità elevata. Prima delle sue ricerche, l'idea prevalente era che i grandi velocisti fossero molto abili a riposizionare velocemente le gambe per il passo successivo, mentre avevano ancora i piedi in aria. Questa tesi però derivava più dall'intuizione che da una teoria sostenuta da prove. Weyand è stato il primo a verificare scientificamente questa idea, e ha scoperto che è sbagliata. Sembra invece che il segreto della velocità sia qualcosa di diverso: un fattore che, secondo Weyand, con la sua guida gli atleti possono migliorare.

Ai vostri posti

Anche se lo sport della corsa risale almeno al 776 a.C., quando era l'unico evento ai primi giochi olimpici, il suo studio scientifico è partito in netto ritardo. Il primo tentativo di ottenere dati rigorosi sui corridori è stato forse quello eseguito nel 1927 dal britannico Archibald Hill, vincitore del premio Nobel. In questo

IN BREVE

L'idea più diffusa sugli sprinter migliori suggeriva che questi atleti d'élite fossero più veloci degli altri sprinter nel riposizionare le gambe a mezz'aria per il passo successivo.

Secondo le ultime scoperte invece l'aspetto decisivo nelle prestazioni dei velocisti d'élite è la forza con cui questi atleti colpiscono il terreno durante la corsa.

Le analisi biomeccaniche hanno rivelato quali fattori contribuiscono alla forza e il modo in cui i velocisti possono migliorarli per correre a velocità più elevate.

Fotografie di Jeff Wilson

Dati in movimento. I ricercatori della Southern Methodist University preparano lo sprinter statunitense Mike Rodgers a correre nel loro laboratorio (*1*). Per riuscire meglio a tracciarne i movimenti il dottorando Andrew Udofa dispone adesivi riflettenti sulla gamba di Rodgers (*2*). I dati di un corridore sono inseriti automaticamente in programmi per computer che aiuteranno il gruppo della Southern Methodist ad analizzare i passi dell'atleta (*3*).

2

3

esperimento gli atleti indossavano calamite e correvano passando davanti a grandi bobine di fili, che rilevavano le calamite. Conoscendo la distanza tra le bobine, Hill era in grado di calcolare velocità e accelerazione dei corridori mentre passavano.

Negli anni cinquanta l'invenzione delle piattaforme dinamometriche moderne ha fornito i mezzi per studiare un altro aspetto della corsa. Questi dispositivi, simili a bilance, registrano il peso applicato su di loro e lo misurano nel corso di un passo. Con questi strumenti gli scienziati possono esaminare il cambiamento della forza esercitata da un atleta a varie velocità durante una corsa, oppure confrontare la forza di vari tipi di contatto col terreno, per esempio sui talloni o sulle punte. Negli anni settanta lo scienziato italiano Giovanni Cavagna raccoglieva dati sulla forza degli atleti facendoli correre su piattaforme dinamometriche disposte lungo una pista. Ma visto il loro prezzo elevato ne aveva poche, sufficienti a rilevare i dati solo di una piccola parte di corsa. Per ottenere una corsa intera, Cavagna doveva far correre gli atleti più volte e spostare in avanti manualmente le piattaforme dopo ogni sessione, registrando solo alcuni passi alla volta, per poi rimetterli insieme alla meglio in un quadro composito.

In base a questi e altri studi iniziali, la scienza dello sprint si è dedicata principalmente a quello che rallenta i corridori – la resistenza dell'aria, spiega l'esperto di locomozione animale Jim Usherwood, dell'Università di Londra – e non a quello che li fa accelerare. Nel complesso il lavoro non faceva molta luce su quello che potevano fare gli sprinter per migliorare le proprie prestazioni.

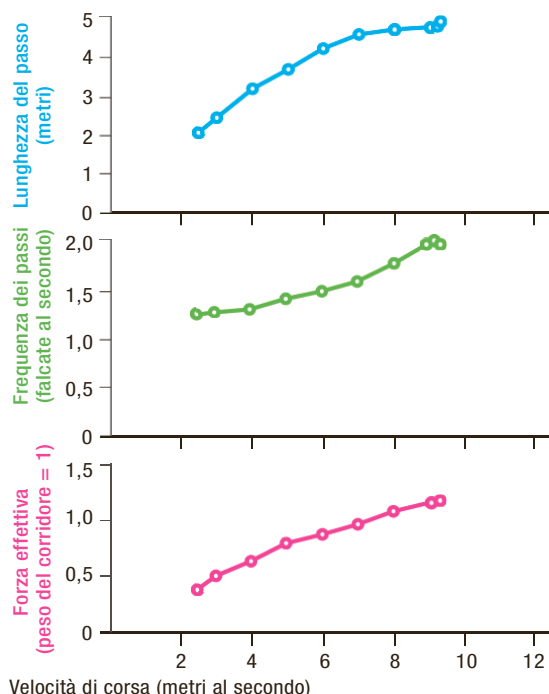
La ricerca di Weyand ha aiutato a spostare la prospettiva e ha prodotto conoscenze che gli atleti possono sfruttare. Tuttavia non è il primo a immaginare questi progressi. Dato che la velocità è il prodotto della lunghezza dei passi per la loro frequenza, i corridori supponevano che ridurre il tempo per cui ciascun piede resta a terra avrebbe determinato una maggiore velocità. Nel 2000 Weyand e i suoi colleghi hanno pubblicato un articolo fondamentale che mostrava come questo avvenga in pratica. Hanno arruolato 33 velocisti di diverso livello e li hanno fatti correre su una versione precedente del loro tapis roulant dotato di piastre dinamometriche. E hanno ottenuto risultati sorprendenti. Weyand si aspettava che i corridori più veloci tenessero i piedi a terra per meno tempo, e quindi più a lungo in aria, rispetto ai loro colleghi più lenti. Ma non immaginava che per tutti gli atleti, a prescindere dalle loro capacità, trascorresse lo stesso tempo da quando un piede si alzava da terra a quando vi ritornava per il passo successivo.

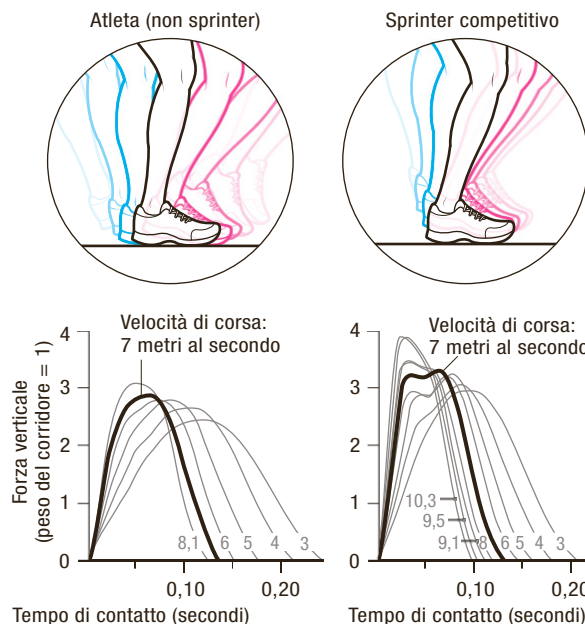
Quello che distingueva davvero i grandi velocisti dagli altri, come ha scoperto il gruppo di Weyand, era la forza con cui colpivano il terreno. In ricerche successive Weyand ha anche osservato che alle velocità più elevate i corridori migliori atterravano con una forza massima fino a cinque volte superiore al proprio peso, a fronte di 3,5 volte per gli sprinter di livello medio. Questa differenza è importante perché, come una palla di gomma che rimbalza tanto più in alto quanto più forte viene lanciata a terra, un corridore che colpisce il terreno con più forza accumula più energia all'impatto e di conseguenza procederà più veloce, più lontano, con passi più lunghi. Inoltre i colpi più potenti permettono agli sprinter di rimbalzare più velocemente, riducendo il tempo di contatto tra i piedi e il terreno, aumentando così la frequenza delle falcate. I velocisti migliori hanno passi più lunghi e più frequenti.

Pronti

Di recente il gruppo di Weyand è riuscito anche a capire come i migliori sprinter generino queste forze più grandi, e così ha imposto di rivedere un altro principio cardine della corsa. Secondo il cosiddetto modello «massa-molla» di meccanica della corsa, concepito verso la fine degli anni ottanta e molto accreditato, le gambe dei corridori si muovono in modo relativamente passivo, agendo come un bastone pogo nel prendere il corpo quando colpisce il terreno, per poi spingerlo di nuovo in aria con il rimbalzo. Le rap-

Guadagnare terreno

Che cosa serve per essere un velocista d'élite? Ottimi geni e l'allenamento della forza fanno la loro parte, ma per la velocità non sono tutto. Negli ultimi anni, studi effettuati con tecnologie all'avanguardia hanno fornito nuove conoscenze sugli aspetti biomeccanici della corsa di velocità, che possono aiutare a migliorare i propri risultati sia i velocisti professionisti sia i dilettanti.

La forza è il fattore chiave

Da tempo gli scienziati sanno che l'aumento di lunghezza e frequenza dei passi determina maggiori velocità di corsa (*in alto e al centro*). Nel 2000 Peter G. Weyand della Southern Methodist e il suo gruppo hanno dimostrato che i corridori più veloci erano anche quelli che colpivano il terreno con più forza (*in basso*). Si scopre che è la forza a determinare lunghezza e frequenza dei passi.

La forma influisce sulla forza

Le gambe dei corridori normali si muovono passivamente, come un bastone pogo, quando colpiscono il terreno e rimbalzano in aria. Riportando in un grafico la forza rispetto al tempo a contatto con il terreno, il risultato è una curva ampia (*a sinistra*). Nel 2014 il gruppo di Weyand ha dimostrato che negli sprinter di livello mondiale, invece, le gambe funzionano come pistoni, per dare colpi più potenti e rendere più rapido il contatto con il terreno. Di conseguenza i loro movimenti danno una curva più stretta (*a destra*). Per colpire il terreno con tanta forza, gli sprinter devono mantenere le caviglie rigide: altrimenti indebolirebbero il rimbalzo, assorbendo parte della forza di impatto.

Grafica di Jen Christiansen, illustrazione di Brown Bird Design. Fonti: *Are Running Speeds Maximized with Simple-Spring Stance Mechanics?*, di Clark K.P. e Weyand P.g., in «Journal of Applied Physiology», Vol. 117, n. 6, 15 settembre 2014 (*in basso a destra*); *Faster Top Running Speeds are Achieved with Greater Ground Forces not more rapid Leg Movements*, di Weyand P.G. E altri, in «Journal of Applied Physiology», Vol. 89, n. 5; 1° novembre 2000 (*a sinistra*)

presentazioni grafiche della forza esercitata con ciascun appoggio somigliano a una curva ampia e simmetrica.

Il modello però si basa sull'osservazione di atleti che corrono a basse velocità. Quando Weyand, Laurence Ryan, fisico della Southern Methodist, e Ken Clark, esperto di biomeccanica oggi all'Università di West Chester, hanno analizzato le riprese video e i dati sulla forza, hanno scoperto che il modello sembrava non valere per i corridori più veloci. Invece di contrarsi ed espandersi in modo uniforme come la molla di un bastone pogo, le loro gambe agivano piuttosto come pistoni, dando colpi improvvisi e intensi. I dati sulla forza dei contatti con il terreno formavano una curva stretta, con un picco alto.

Uno studio attento degli arti inferiori di questi velocisti ha rivelato dettagli in grado di contribuire alle notevoli forze che generano: i corridori irrigidiscono la caviglia appena prima di colpire il terreno, il che serve a far decelerare piede e caviglia qualche frazione di secondo dopo l'impatto. Questa decelerazione aiuta a massimizzare la forza esercitata sul corpo dal terreno in reazione all'impatto e a prevenire la perdita di quella forza. Inoltre i migliori sprinter tengono le ginocchia alte, aumentando al massimo la distanza da terra, ottenendo così tempo e spazio per accelerare il contatto e, in ultima analisi, atterrare con più forza. Secondo Weyand queste scoperte, pubblicate nel 2014, hanno un senso logico: se si dà un pugno tenendo il polso molle, non sarà molto forte. Se invece si irrigidisce il polso, il pugno sarà più potente.

Queste conoscenze adesso sono alla base dei consigli dati dal gruppo a velocisti e allenatori che chiedono come migliorare i risultati nello sprint. «Sono indicazioni semplici. Non diciamo: "Decelera", ma "Arriva a terra rigido", e quindi la decelerazione avverrà di conseguenza», spiega Weyand. E aggiunge che, seguendo questo consiglio, a ogni appoggio uno sprinter sentirà un impatto più forte con il terreno. Ed è importante anche la postura del resto del corpo, tra cui caviglie, ginocchia, anche, busto e testa, che a loro volta andrebbero tenuti rigidi.

Per qualcuno le scoperte di Weyand non sono state una sorpresa. Ralph Mann, esperto di biomeccanica ed ex ostacolista olim-

Invece di contrarsi ed espandersi in modo fluido come le molle di un bastone pogo, le gambe dei corridori sembravano funzionare come pistoni

Analisi della velocità: da vent'anni Weyand, esperto di biomeccanica, cerca di capire meglio che cosa rende tanto veloci gli sprinter di livello mondiale.

pionico degli Stati Uniti che oggi collabora con atleti e allenatori della federazione statunitense di atletica, aveva già dato queste indicazione ai corridori, spiega il tecnico statunitense Darryl Woodson, che allena otto sprinter, tra cui Rodgers. Secondo Woodson, però, avere dati concreti con cui sostenere i consigli di Mann ha reso gli allenatori «più sicuri di quello che dicevano agli atleti».

Via!

Gli atleti d'élite che hanno fatto tesoro dei consigli di Weyand dicono di essere migliorati. L'ostacolista olimpionico statunitense David Oliver voleva migliorare le sue prestazioni dopo avere vinto la medaglia di bronzo alle Olimpiadi di Pechino nel 2008, quindi nel 2012 un suo allenatore l'ha portato da Weyand, il quale ha individuato due punti deboli di Oliver: colpiva il terreno con i piedi troppo lontani dal baricentro e il ginocchio della gamba d'appoggio troppo indietro – invece che parallelo o davanti all'altro ginocchio – riducendo così la forza dei colpi. Oliver racconta che si è dedicato a questi problemi negli allenamenti e negli esercizi di forza, e dopo alcuni mesi ha visto un miglioramento costante. È arrivato a vincere la medaglia d'oro nei 110 metri a ostacoli ai campionati mondiali dell'anno successivo a Mosca, e in questa specialità detiene tuttora il quarto risultato di sempre.

Ma, a prescindere dai resoconti aneddotici, ancora oggi non sono stati pubblicati studi su questi corridori dopo che hanno seguito i consigli di Weyand. Un'analisi ancora in corso, però, lascia intuire che le sue indicazioni possano portare notevoli vantaggi. Matt Bundle, dell'Università del Montana, ha analizzato il modo in cui i consigli influiscono sugli sprinter che si sottopongono ai test e ha osservato miglioramenti «dell'entità che crediamo si possa ottenere con il doping», spiega. «È un incremento straordinario».

Eppure Weyand ammette che la biomeccanica non è tutto: ci sono ancora molte aree da studiare e fattori fuori dal controllo degli atleti. La genetica, per esempio, è ovviamente essenziale. «Senza una struttura fisica adeguata e caratteristiche muscolari che permettano di essere potenti, non è possibile diventare grandi sprinter», spiega Weyand. E a volte un atleta può compensare difetti biomeccanici: secondo Weyand, la persona più veloce cronometrata, il giamaicano Usain Bolt, non è impeccabile sotto l'aspetto meccanico. Questa imperfezione fa ritenere che debbano esserci altri fattori ad aiutare Bolt, soprattutto statura e forza.

Gli scienziati dello sport osservano che le scoperte di Weyand valgono non solo per gli atleti di livello mondiale, ma anche per gli sprinter dilettanti. Per la maggior parte delle persone, sostengono i ricercatori, irrigidire le caviglie, tenere le ginocchia alte e cercare di colpire il terreno con molta forza non basterà per andare alle Olimpiadi, ma potrebbe essere utile per migliorare il primato personale. Naturalmente, a un corridore dilettante colpire il terreno così forte potrebbe creare problemi. Se non si è in forma, questi colpi potrebbero per esempio aumentare il rischio di potenziali infortuni, tra cui dolore a ginocchia e arcate plantari, periostite tibiale o una sindrome detta metatarsalgia, cioè un'infiammazione della regione plantare del piede. Il ricercatore francese J.B. Morin, dell'Università di Nizza-Sophia Antipolis, consiglia di correre in discesa, nell'ambito di un regime di allenamento mirato a mantenere le caviglie rigide. Inoltre suggerisce di saltare la corda per facilitare i rimbalzi veloci. Per inciso, le scoperte di Weyand valgono solo per gli sprinter: gli specialisti delle corse più lunghe non possono colpire il terreno con altrettanta forza perché devono conservare l'energia per un tempo più lungo.

Per quanto lo riguarda, Rodgers sta ricevendo buone notizie da Weyand. In generale, secondo l'esperto di sport, i migliori sprinter «attaccano il terreno». Ed è proprio quello che già fa Rodgers, come dimostrano i dati della sua forza. Anche se pesa solo circa 75 chilogrammi, ha esercitato sul tapis roulant una forza di oltre 320 chilogrammi, pur avendo i muscoli stanchi da un allenamento precedente. ■

PER APPROFONDIRE

Faster Top Running Speeds Are Achieved with Greater Ground Forces Not More Rapid Leg Movements. Weyand P.G. e altri, in «Journal of Applied Physiology», Vol. 89, n. 5, pp. 1991-1999, 1° novembre 2000.

Foot Speed, Foot-Strike and Footwear: Linking Gait Mechanics and Running Ground Reaction Forces. Clark K.P., Ryan L.J. e Weyand P.G., in «Journal of Experimental Biology», Vol. 217, n. 12, pp. 2037-2040, 15 giugno 2014.

Are Running Speeds Maximized with Simple-Spring Stance Mechanics? Clark K.P. e Weyand P.G. in «Journal of Applied Physiology», Vol. 117, n. 6, pp. 604-615, 15 settembre 2014.

Piste veloci per l'atletica. McMahon T.A. e Greene P.R., in «Le Scienze» n. 126, febbraio 1979.

W. Wayt Gibbs è giornalista e responsabile editoriale di Intellectual Ventures, società di investimento parzialmente finanziata da Bill Gates e dalla Bill & Melinda Gates Foundation. Gibbs è *contributing editor* di «Scientific American».

EPIDEMIOLOGIA

Lo stato di salute *dell'umanità*

Un'impresa globale punta a tracciare un quadro completo della salute umana con cui migliorare gli interventi su malattie e disabilità

di W. Wayt Gibbs

Quando aveva dieci anni, Christopher Murray e la sua famiglia fecero le valigie, imballarono un generatore portatile e lasciarono la propria casa di Golden Valley, in Minnesota, per volare in Inghilterra. Da lì, fra auto e traghetti, attraversarono Spagna, Marocco e deserto del Sahara fino al villaggio rurale di Diffa, nel Niger. Nell'anno seguente i cinque componenti della famiglia, guidati dal padre medico e dalla madre microbiologa, allestirono e poi amministrarono l'ospedale del paese. Mentre aiutava nella farmacia dell'ospedale e svolgeva le commissioni a lui affidate, il giovane Christopher non poté non notare che gli abitanti del Niger si prendevano tante malattie strane che a casa, in Minnesota, non aveva nessuno. E ricorda di essersi chiesto: «Come mai la gente si ammala molto di più in certi posti che in altri?».

Illustrazione di Peter e Maria Hoey

E poi, un senso di frustrazione. Per gli abitanti di Diffa Christopher e la famiglia avevano lavorato duro; ma alla fine dell'anno «quando andammo via avevo la sensazione che le cose non erano cambiate poi tanto», dice Murray. «E poi era rimasta la domanda: "Come si fa a realizzare cambiamenti più radicali e duraturi?"».

È la domanda che nei successivi quarant'anni ha spinto Murray a insistere con medici e ministri della salute affinché guardassero di più al quadro complessivo, agli andamenti di lungo periodo che determinano i motivi per cui tante persone muoiono giovani per cause prevenibili; e a dedicare la sua vita professionale alla creazione di un sistema che potesse fornire un ingrediente cruciale ma troppo spesso mancante nelle politiche globali per la salute: informazioni affidabili.

Murray ha capito che il quadro dei mali che tormentano la nostra specie è spesso confuso perché i politici nascondono o truccano i numeri che li mettono in imbarazzo. E può essere complicato

confrontare le statistiche di un paese con quelle di un altro. Ma c'è un modo per aggirare questi problemi.

Con altri esperti, Murray ha iniziato a realizzare uno strumento di nuovo tipo, che possa colmare i vuoti nei dati e rivelare il reale stato sanitario del mondo, e mostrare che cosa bisogna fare per ridurre le sofferenze di intere popolazioni per generazioni.

Nel XIX e nel XX secolo la diffusione dell'uso del microscopio diede il via a una rivoluzione nel campo della salute umana, permettendo agli scienziati di concentrarsi sui più piccoli protagonisti della nostra salute: l'identificazione dei germi, che a sua volta ha portato al miglioramento dell'igiene, allo sviluppo degli antibiotici, alla produzione di vaccini. Il nuovo strumento di Murray doveva essere l'opposto del microscopio. Doveva svelare aspetti importanti delle malattie alla scala più grande possibile: paesi, continenti interi, la specie umana nel suo complesso. Un «macroscopio», si potrebbe dire.

Una lingua universale

Il primo tentativo di sviluppare uno strumento del genere Murray lo ha fatto alla Banca Mondiale nel 1993, quando insieme a pochi altri ha compilato un rapporto, oggi considerato una pietra miliare, sul peso delle malattie umane in tutto il mondo. Nel 2007 ha poi fondato l'Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) dell'Università del Washington a Seattle, reclutando una rete globale di collaboratori per realizzare un macroscopio assai più raffinato e completo.

Come tante altre innovazioni del XXI secolo, il macroscopio è fatto di programmi ed enormi quantità di dati (*big data*). Da una parte entrano gigabyte di statistiche sanitarie, provenienti da ogni parte del pianeta e controllate da una squadra multinazionale di oltre 1000 scienziati; dall'altra escono grafici e tabelle interattivi che illuminano, con un livello di dettaglio e di precisione finora impossibile, praticamente tutti i vari modi in cui le persone si ammalano, si fanno male o muoiono nel mondo: dagli attacchi di cuore ai morsi d'asino. Nel mezzo ci sono programmi per supercomputer che sfruttano abilmente statistica e matematica per correggere i dati viziati, individuare e scartare quelli inaffidabili e produrre stime intelligenti sulle tante parti del mondo per cui dati validi semplicemente non ce ne sono.

Dopo dieci anni e decine di milioni di dollari spesi per lo sviluppo del sistema, ora si ottengono istantanee dello stato di salute di *Homo sapiens* con quasi la regolarità di un esame medico annuale. Il primo gruppo di statistiche espanse è stato pubblicato dall'IHME nel 2012, e un altro nel 2014. Un aggiornamento che riflette i dati raccolti nel 2015 è previsto per settembre e i controlli proseguiranno ogni anno. Ogni volta le immagini – non solo l'ultima ma anche quelle passate – si fanno più accurate, dettagliate e complete.

Alcuni risultati hanno suscitato controversie perché contraddicono quelli di OMS e di altre agenzie delle Nazioni Unite

I rapporti, noti nel loro insieme come Global Burden of Disease, Injuries and Risk Factors Study (GBD) hanno evidenziato tendenze sorprendenti per mali fra loro assai diversi come inquinamento atmosferico, malattie renali e cancro al seno sia nei paesi ricchi sia nei paesi poveri. Alcuni risultati hanno poi suscitato controversie, perché contraddicono quelli pubblicati dall'Organizzazione mondiale della Sanità (OMS) e altre agenzie delle Nazioni Unite.

Insieme a tanti altri esponenti dei paesi in via di sviluppo, però, Agnes Binagwaho, ministra della salute del Rwanda, si schiera tra i fan del macroscopio. «Non è solo un nuovo strumento, è una rivoluzione», ha detto alla sua presentazione ufficiale nel 2013. «Stiamo per avere a disposizione una lingua universale, per scienziati e politica sanitaria... La nostra gente potrà vivere meglio».

Nato in un granaio

Possiamo dire che il primo impulso lo ha dato nei primi anni novanta Dean Jamison, economista che allora lavorava alla Banca Mondiale e stava compilando un approfondito rapporto sulle relazioni tra salute ed economia nel mondo. Jamison aveva commissionato a Murray un'indagine sul peso economico di malattie e infortuni nel 1990. In seguito a Murray si era unito Alan Lopez, epidemiologo allora all'OMS.

«La maggior parte del lavoro l'abbiamo fatta nel granaio di Chris, nel Maine», dice Lopez, che ora lavora al GBD all'Università di Melbourne, in Australia. «Abbiamo dato una caccia spietata a tutti i dati disponibili su circa 120 malattie e 10 fattori di rischio. Lavoravamo 20 ore al giorno, come ossessi».

Rispetto all'ultimo GBD, che coprirà 317 cause di morte e disabilità in tutti i paesi con oltre 50.000 abitanti, il rapporto della Banca Mondiale del 1993 era rudimentale, ma comunque aveva avuto un'influenza enorme. Bill Gates, co-fondatore di Microsoft, lo cita come uno dei motivi per cui lui e sua moglie Melinda hanno deciso di dedicare la maggior parte delle loro attività filantropiche – per oltre 37 miliardi di dollari finora – a combattere le malattie infettive (*si veda il box a p. 68*). E nel 1998 Gro Harlem Bruntland, allora direttrice generale dell'OMS, aveva assunto Murray affinché realizzasse un sistema analogo per l'agenzia da lei diretta.

Murray e colleghi avevano sfacciatamente compilato una classifica delle prestazioni dei sistemi sanitari dei vari paesi, suscitando un uragano di critiche provenienti sia da epidemiologi accademici sia da funzionari governativi scontenti della posizione assegnata al proprio paese (gli Stati Uniti erano trentasettesimi; la Russia centotrentesima). L'OMS, che risponde ai paesi membri, non ha mai più pubblicato di queste classifiche. «Era diventata una battaglia politica, e anche grande», dice Murray. Lo scontro ha finito per assorbire tante delle sue energie da affondare il progetto di misurare il peso globale delle malattie, e nel 2003 Murray

IN BREVE

Christopher Murray, medico ed economista, si dedica da decenni all'impresa di raccogliere dati attendibili su malattie e disabilità in tutto il mondo, come strumento per fare progressi duraturi nel campo della salute umana.

Per molti problemi sanitari, però, i numeri mancano, oppure sono fuorvianti e difficili da confrontare da paese a paese.

Murray è a capo di un gruppo di varie centinaia di esperti che raccoglie i migliori dati disponibili da tutto il mondo e li elabora con un raffinato modello matematico su un supercomputer per ottenere valori più utili e affidabili.

Finora i risultati hanno già messo in luce, fra l'altro, inattesi progressi nell'accesso all'acqua potabile, ma anche l'insufficienza di buone informazioni su tifo, morbillo ed epatite.

RISULTATI

Il cancro, un flagello anche nei paesi in via di sviluppo

Il cancro è considerato un problema dei paesi ricchi, ma l'immagine al macroscopio mostra che è un'idea sbagliata. Con il miglioramento delle condizioni di vita in America centrale le donne vivono più a lungo, e i tumori al seno incidono di più sulla loro salute. Fra le donne del Messico, per esempio, i relativi tassi di mortalità sono saliti del 75 per cento, o del 17 per cento se si tiene conto degli effetti su una popolazione che invecchia. Gli incrementi nei paesi vicini sono stati simili.
Più in generale, nelle parti del mondo dove il reddito è basso o medio i vari tipi di cancro nel loro complesso causano il 50 per cento di decessi in più rispetto a quelli dovuti a HIV/AIDS, tubercolosi e malaria messi insieme (A). Eppure la comunità internazionale spende relativamente poco per i metodi di prevenzione – come il vaccino per il papillomavirus umano legato al cancro e l'informazione sui rischi di fumo, diete errate e inattività fisica – che hanno funzionato bene per ridurre l'incidenza del cancro in alcuni paesi più ricchi (B).

DALY: che cosa vuol dire?

«Star bene in salute è molto di più che sfuggire alla morte», dice Christopher Murray. Per quantificare in modo più utile la nozione di cattiva salute, Murray e Alan Lopez hanno da tempo adottato un'unità detta DALY (*Disability-Adjusted Life-Years*), che sta per «attesa di vita corretta per disabilità».
In linea di principio un DALY equivale alla perdita di un anno di vita in buona salute. Per i calcoli si assume che ogni persona, ricca o povera, giovane o vecchia, dovrebbe vivere tutti gli anni previsti dalla sua speranza di vita – cioè 86 anni, secondo lo studio più recente – senza sofferenze. Un bambino di cinque anni che muore improvvisamente di malaria, quindi, rappresenta 81 DALY; e un ottantacinquenne che ha sempre vissuto in perfetta salute ma muore per incidente stradale rende conto di un solo DALY. Anche le disabilità che peggiorano le condizioni di vita senza necessariamente accorciarla si contano in DALY, secondo uno schema di pesi derivato da pubblici sondaggi sulle opinioni dei medici e più di recente della gente comune, con cui si valuta, per esempio, quanto pesa la disabilità imposta dalla cecità rispetto alle sofferenze dovute al cancro alla prostata.

Grafici di Nigel Hawtin; Fonte: Institute for Health Metrics and Evaluation: Global Health Data Exchange (GHDX) www.healthdata.org

ha lasciato l'OMS per passare alla Harvard University. La dura lezione, dice, è stata che «è essenziale tenere questo lavoro al riparo dall'influenza dei governi».

Quindi ha cercato finanziamenti privati per fondare un istituto accademico che fosse libero da interferenze politiche. In un viaggio a Seattle, Murray ha incontrato Bill Gates, il quale – dice sempre Murray – ha quasi subito approvato la sua proposta. Nel 2007 la Fondazione Bill & Melissa Gates ha donato 105 milioni di dollari per lanciare l'IHME e in breve è iniziato il lavoro sul macroscopio.

Modelli della sofferenza

Dare conto delle umane sofferenze in un mondo disorganizzato è in effetti una faccenda complicata. Ma Murray ha trovato altri ricercatori convinti come lui e Gates che i difetti delle statistiche messe a disposizione da governi, gruppi di pressione, OMS e altre agenzie delle Nazioni Unite si potevano superare, e che disporre di cifre migliori sarebbe servito a salvare vite umane nel lungo termine. Errori di misura, rilevamenti viziati e mancanza di dati: questi erano i demoni da combattere.

Molti dati grezzi che alimentano il sistema provengono da ministeri della salute e organizzazioni umanitarie o dalla letteratura scientifica, ma prima sono sottoposti a un rigoroso controllo di qualità. «Ogni volta che arriva un nuovo blocco di dati, la prima domanda che ci facciamo è: "Che cosa c'è di sbagliato?"», dice Lopez. «Togliamo di mezzo classificazioni "spazzatura", per esempio le morti attribuite ad "acts of God" [letteralmente, in inglese "atti divini", cioè calamità e catastrofi imprevedibili, *N.d.T.*] e usiamo metodi scientifici per ricondurle a una lista di cause ben definita». Il procedimento aiuta a tenere sotto controllo certi dati aberranti, come l'apparente bassa mortalità per malattie cardiache in Francia malgrado l'alta prevalenza di fattori di rischio. Risulta che i medici francesi, quando una persona muore di attacco cardiaco, tendono a riportare altre cause concomitanti. «Questa pratica culturale rende conto di una metà circa del cosiddetto paradosso francese», dice Theo Vos, uno degli scienziati di punta dell'IHME.

Anche centinaia di scienziati di tutto il mondo esperti in ciascuna malattia e regione correggono i vari blocchi di dati per tenere conto delle variazioni di come sono definite le malattie. Mettendo tutti i risultati sulle stesse basi, dice Lopez, «possia-

Bill Gates sulla salute globale

Bill e Melinda Gates sono stati fra i massimi finanziatori di numerose iniziative per la salute di portata mondiale, inclusi gli sforzi per alleviare HIV e tubercolosi e quelli per eliminare poliomielite e malaria. La Fondazione Bill & Melinda Gates ha inoltre finanziato la costituzione dell'Institute for Health Metrics and Evaluation e il suo lavoro in corso per misurare la prevalenza delle varie malattie e le loro cause in tutto il mondo, in un progetto detto Global Burden of Diseases, Injuries and Risk Factors Study (per brevità, GBD). Intervistato ad aprile 2014 da W. Wayt Gibbs, *contributing editor* di «Scientific American», Bill Gates ripercorre le origini di questo impegno e i progressi fin qui realizzati. Quello che segue è una versione editata dell'intervista.

Scientific American: È stato tra i primi ad appoggiare Christopher Murray e la sua iniziativa per la creazione di un organismo autonomo, l'IHME, che metta insieme statistiche rigorose sulla salute umana nel mondo in modo largamente indipendente dall'Organizzazione mondiale della Sanità (OMS). In che modo vi siete conosciuti e come avete deciso per questo percorso?

Bill Gates: Ho conosciuto Christopher nel 2001, quando lavorava per l'OMS e stava realizzando la prima classifica mai compilata dei sistemi sanitari nazionali. Alcuni paesi spingevano in direzione opposta, perché non erano soddisfatti del suo modo di valutare le cose. L'idea che qualcuno cercasse raccogliere insieme, il meglio possibile, tutto quello che sappiamo sulla situazione sanitaria umana, in particolare per i paesi poveri, era attraente. E quindi abbiamo dato all'Università del Washington i fondi per creare l'IHME.

SA: Ma l'OMS e altre agenzie delle Nazioni Unite raccolgono e pubblicano un gran numero di statistiche sanitarie sui paesi del mondo. Perché è necessario uno sforzo separato?

BG: Apprezzo molto l'OMS, e Margaret Chan [l'attuale direttrice generale] ha fatto tante ottime cose. Ma è un'agenzia dell'ONU, e questo crea certe complicazioni. Quando Chris faceva le sue classifiche dei paesi all'interno dell'OMS, ha visto che sia i finanziamenti sia l'impossibilità di prendere posizioni controverse gli imponevano forti limitazioni. Valutare i loro stessi clienti ha finito per essere molto difficile per loro.

SA: Qual è la sua impressione sulla salute collettiva della nostra specie? Siamo più sani di vent'anni fa?

BG: Siamo di gran lunga più sani oggi che in passato. È una buona notizia, di quelle che danno alla testa. E visto che è una buona notizia, e non ci sono cattivi da additare, non riceve l'attenzione che merita. Ma se guardiamo a paesi come Vietnam, Cambogia, Sri Lanka, Rwanda, Ghana, sostanzialmente tutte le malattie trasmissibili sono in calo. L'unica malattia infettiva su cui lavoriamo e che oggi è in crescita è la dengue. Certo, il peso delle malattie non trasmissibili nei paesi in via di sviluppo sta aumentando. C'è un'epidemia di diabete. E c'è l'esplosione delle spese mediche. In termini globali, però, quello che è accaduto negli ultimi vent'anni è sensazionale.

mo confrontare l'andamento del cancro in Ungheria ed El Salvador, o in Sudafrica, o in qualunque altro posto».

Poi ci sono le influenze della politica. «È sempre più difficile per i governi imporre i propri numeri all'OMS e alle Nazioni Unite – dice Murray – ma ci sono effetti più sottili. L'UNAIDS pubblica ogni anno le sue stime sulla prevalenza di HIV/AIDS, per esempio, ma alla Cina e a qualche altro paese non piacciono. Così non pubblicano i numeri per quei paesi»: 83 nazioni, nel 2015.

Il problema dei dati mancanti è il più spinoso. Semplicemente per molte delle parti del mondo più colpite dalle malattie non ci sono statistiche complete sulla salute. Il gruppo dello studio GBD riempie le lacune in due modi. Innanzitutto indagini effettuate da un piccolo esercito di operatori che vanno di villaggio in villaggio – e in alcuni posti di casa in casa – a raccogliere informazioni da appunti scritti a mano e, se necessario, da colloqui diretti con le persone su malattie e morti in famiglia. Il Million Death Study, in corso in India, sta facendo questo lavoro su vasta scala; i risultati preliminari del 2010 fanno pensare che la malaria in India causi un numero di vittime almeno dieci volte più grande di quello riportato dall'OMS, che basandosi soprattutto sui registri degli ospedali non aveva rilevato molte delle morti avvenute in casa.

Il secondo modo per colmare le lacune nei dati è estrapolarli dai vari andamenti ricorrenti osservati dai ricercatori per specifiche malattie, infortuni e fattori di rischio. Per esempio la malaria tipicamente si aggrava durante e subito dopo la stagione delle piogge; i tassi dei tumori sono più elevati fra gli anziani; e la prevalenza dell'HIV è maggiore nei paesi confinanti con paesi in cui i sieropositivi sono molti. Queste correlazioni permettono di usare indicatori statistici ben misurati in una certa parte del mondo per formulare stime ragionevoli di quelli che dovrebbero essere i valori in un'altra parte del mondo dove i dati sono incompleti.

«Abbiamo una banca dati di 200 di queste variabili ben misurate, che vanno da latitudine, densità di popolazione e piovosità al numero di sigarette fumate e dei maiali mangiati dalle persone», dice Vos. Il sistema genera miriadi di combinazioni di queste variabili, le inserisce in un gran numero di modelli matematici di varie forme e poi effettua test per vedere quale combinazione produce coerentemente le previsioni più precise per ciascuna malattia.

Questo approccio, detto *ensemble modelling*, è stato ampiamente usato nelle previsioni del tempo, per finanza e assicurazioni, e in altri campi; ma mette a disagio molti epidemiologi, dice Vos, in parte perché richiede potenze di calcolo enormi.

Lo studio GBD segue oggi oltre 1000 indicatori sanitari per 188 paesi in un arco temporale di 25 anni, e li controlla confrontandoli con un numero di modelli statistici compreso tra 20 e 40. I calcoli sono poi ripetuti 1000 volte per ciascun modello facendo oscillare i dati puntuali in tutta la gamma dei loro plausibili valori, questo permette ai ricercatori di corredare le proprie stime di un margine d'errore che ne indica il grado di incertezza. I calcoli sono elaborati dal supercomputer dell'IHME, in cui 12.000 processori ogni volta masticano numeri per quattro giorni e poi tirano fuori una fotografia del pianeta, una sorta di scheda di valutazione sullo stato di salute della specie umana.

«Già il fatto che qualcuno stia cercando di pubblicare questi numeri, con una stima dei possibili errori, serve a mettere a fuoco il dibattito», dice Gates. «Ora che l'IHME ha realizzato un punto centrale di raccolta, non c'è più bisogno di leggersi centinaia di articoli per cercare di ricostruire un quadro complessivo per con-

Il mistero della malattia renale

La malattia renale cronica è in rapida ascesa. L'IHME stima che negli Stati Uniti il tasso di mortalità da problemi renali persistenti abbia avuto un balzo del 72 per cento circa rispetto al 1990; nel 2013 fra gli statunitensi il tasso annuo era arrivato a tre morti per malattie renali ogni due per cancro al seno. Altrove, la situazione è ancora peggiore. In Messico i problemi renali cronici erano responsabili nel 1990 solo di una morte su 40; nel 2013, quasi di una su 11.
Lo studio GBD suggerisce che l'aumentata prevalenza di obesità e diabete può spiegare circa un quarto dell'aumento, e l'alta pressione del sangue un altro quarto. «Ma sembra che stia salendo anche per qualche altra ragione», dice Murray dell'IHME. «Quale sia, è ancora oggetto di controversie.»

Morti attribuite a malattia renale cronica
(per 100.000 persone)

Grafico di Nigel Hawtin; fonte: Institute for Health Metrics and Evaluation: Global Health Data Exchange (Ghdx) www.healthdata.org

to proprio. Qualcuno metterà in discussione questo o quel valore numerico, ma una volta entrate in funzione le giuste procedure si potranno rivedere e aumentare le stime dell'errore, o fare altre ricerche, e lo stato delle conoscenze migliorerà».

Risultati sorprendenti

La prima pubblicazione dei numeri dello studio GBD nel 2012 ha smosso le acque anche in paesi orgogliosi del proprio sistema di raccolta delle informazioni sanitarie. Ha destato allarme fra i funzionari britannici, per esempio, vedere che la salute dei loro concittadini era rimasta indietro rispetto a quella dei vicini europei. «L'analisi dei fattori di rischio li ha spinti a modificare le priorità, dando più importanza alla dieta», dice Murray. Oggi almeno 33 paesi, fra cui Cina, Brasile, Germania e Russia, stanno effettuando studi analoghi sulle rispettive popolazioni per migliorare qualità e dettaglio delle statistiche sanitarie, e anche questi dati finiranno nel macroscopio globale.

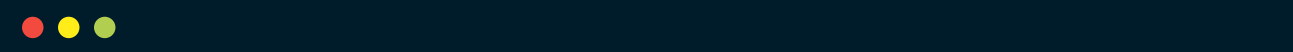
Qualcuna delle nuove fotografie della salute umana prodotte dal sistema GBD ha suscitato discussioni perché contraddiceva cifre da tempo accettate come autorevoli. Un'analisi della prevalenza dell'HIV pubblicata nel 2014, per esempio, suggerisce che le stime dell'UNAIDS tra il 2005 e il 2012 erano troppo elevate del 17-19 per cento, una differenza di circa 6,6 milioni nel numero di persone infettate e 635.000 morti. Se questo dato è corretto, c'è da chiedersi se certe strategie di prevenzione e trattamento non stiano funzionando meglio del previsto e, in tal caso, se non sia il caso di adottarle più ampiamente.

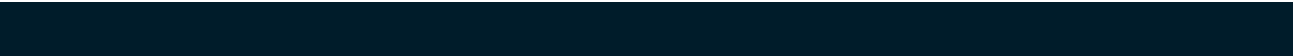
In un altro risultato controverso, l'IHME ha stimato che circa un terzo delle vittime della malaria nel 2013 erano adulti. Da tempo si riteneva che sebbene questa malattia trasmessa dalle zanzare faccia ammalare molte persone anziane, i decessi per malaria siano in larga parte limitati ai bambini. «Il 90 per cento degli esperti del campo pensa che Murray abbia torto», dice Gates. Ma entro qualche anno i miglioramenti nella raccolta dei dati risolveranno la disputa.

Dai risultati del GBD emergono anche rivelazioni incoraggianti. Risulta per esempio che il carico di morti e disabilità dovute a malattie diarroiche, causate innanzitutto da acque nere, è crollato del 70 per cento tra il 1990 e il 2013. Addirittura l'acqua sporca è ormai un pericolo più ridotto rispetto ad altri rischi che secondo Murray e colleghi in certe regioni potrebbe essere saggio reindirizzare gli aiuti dalle strutture idriche alla prevenzione degli incidenti stradali, per esempio. Gli incidenti stradali sono in aumento anche perché i bambini che un tempo morivano di malattie trasmesse attraverso l'acqua oggi sopravvivono e diventano pedoni, ciclisti e giovani in auto.

Allo stesso tempo il sistema rivela i punti ciechi del sistema globale di sorveglianza. «Ci fa impazzire il fatto che in realtà non sappiamo dove si trovano tifo e colera», dice Gates, che adesso alle riunioni con funzionari e operatori umanitari porta con sé i grafici del GBD. Poiché la rilevazione di queste malattie è a macchia di leopardo, l'IHME ritiene che il tifo potrebbe rendere conto della perdita di soli 6 milioni di anni di vita in salute in tutto il mondo oppure addirittura 18,3 milioni di anni. Allo stesso modo enormi incertezze riguardano l'impatto di tosse convulsa, morbillo ed epatiti A e C.

Murray resta fiducioso nel fatto che l'immagine al macroscopio si farà più nitida con il passare del tempo. I leader potrebbero allora spostare l'attenzione dal numero di persone che si ammalano e muoiono per ciascuna malattia ai mutamenti che si verificano da un anno all'altro. È proprio quello che è avvenuto nel campo della macroeconomia, osserva. Non si dà più tanta importanza al reddito medio, al numero totale dei posti di lavoro o al valore assoluto del prodotto interno lordo; quello che conta di più è il tasso di cambiamento. Abbiamo smesso di chiederci: «Possiamo fare di meglio?», dice Murray. Ora la domanda diventa: «Come possiamo migliorare più velocemente?». ■

PER APPROFONDIRE

Epic Measures: One Doctor, Seven Billion Patients. Smith J.N., Harper Wave, 2015.

Global, Regional, and National Disability-Adjusted Life Years (DALYs) for 306 Diseases and Injuries and Healthy Life Expectancy (HALE) for 188 countries, 1990-2013: Quantifying the Epidemiological Transition. Murray C.J.L. e altri, in «The Lancet», Vol. 386, pp. 2145-2191, 28 novembre 2015.

Visualizzazioni interattive dei risultati dello studio GBD: **www.healthdata.org/results/data-visualizations.**

Sei miliardi in Africa. Engelman R., in «Le Scienze» n. 572, aprile 2016.

Programmare computer: la rivoluzione

Negli Stati Uniti la richiesta che gli studenti imparino a programmare computer è sempre più pressante. Qualcuno però sottolinea gli ostacoli pratici, altri si preoccupano della possibilità che i programmi scolastici finiscano per essere dettati da privati. Insegnare a tutti gli alunni a programmare è un obiettivo realistico e che vale la pena di perseguire?

di Annie Murphy Paul

IN BREEVE

I sostenitori dell'insegnamento universale della programmazione credono che insegnare informatica nelle scuole pubbliche possa colmare il divario nei risultati scolastici dei diversi gruppi socio-economici e aiutare gli studenti statunitensi a tenere il passo di quelli di altri paesi.

Ma per insegnare a tutti a programmare bisogna affrontare grossi ostacoli di ordine pratico, come mancanza di insegnanti, assenza di programmi scolastici approvati e disparità nell'accesso degli studenti ai computer.

Alcuni critici sostengono che concentrarsi sulla programmazione sarebbe restrittivo e troppo tecnico, e che a premere in questo senso sulle scuole siano in realtà gli imprenditori del settore, che guardano ai propri profitti.

Un possibile punto di incontro è l'insegnamento del «pensiero computazionale»: un'attitudine mentale fatta di divisione dei problemi, progettazione di sistemi ed esperimenti a scala ridotta per trovare gli approcci che funzionano meglio. La Casa Bianca ha lanciato la Computer Science For All Initiative, che comprende stesura dei codici e pensiero computazionale.

Illustrazione di Patric Sandri

«Prime! Sì!»

Annie Murphy Paul scrive per «New York Times» e «Time», e per la rivista on line «Slate». Fra i suoi libri vi sono *The Cult of Personality Testing* e *I 9 mesi decisivi*, (Tecniche Nuove, Milano, 2012) segnalato fra i 100 libri più notevoli del 2010 dal «New York Times». Il suo prossimo libro, in uscita per la casa editrice Crown, si intitola *Brilliant: The Science of How We get Smarter.*

Allie e Laureen, due ragazzine di prima media della Loyola Elementary School di Palo Alto, in California, entrano di corsa nell'aula di Sheena Vaidyanathan qualche minuto prima dell'inizio della quinta ora. È una cosa che va avanti già da un po': fanno a chi arriva prima nell'aula di informatica con due compagni di classe, William e Blake.

Vanno al loro posto nella fila di nuovi computer da tavolo Apple e subito si lanciano nel compito assegnato dall'insegnante: trovare e correggere gli errori in un programma. È un lavoro, duro ma importante, che assorbe gran parte del tempo dei programmatori di professione.

Suona la campanella ed entrano altri studenti, alla spicciolata. Vaidyanathan, una donna minuta dai modi calorosi e amichevoli, li accoglie con un sorriso.

«Che si fa oggi, signora V.?», chiede un ragazzino entrando.

«*Debug*», risponde lei.

«Bello!», fa lui, e corre al computer.

I promotori dell'insegnamento generalizzato della programmazione informatica amerebbero vedere queste scene in tutto il paese. Fra loro vi sono imprenditori di punta che vorrebbero avere una nuova generazione di ingegneri e programmatori da assumere, e funzionari governativi che guardano alla competitività degli Stati Uniti nell'economia globale. «Ogni studente merita la possibilità di impadronirsi di questa competenza essenziale per il XXI secolo», ha scritto qualche mese fa su Twitter Bill Gates, co-fondatore di Microsoft. Con molti altri, sostiene che saper programmare è un nuovo aspetto dell'alfabetizzazione, importante quanto saper leggere e far di conto. In un saggio del 2008, Mark Prensky, lo scrittore e conferenziere che ha coniato l'espressione «nativi digitali», ha scritto: «Credo che la singola abilità che distinguerà una persona istruita sarà la capacità di programmare».

I sostenitori evidenziano inoltre l'alta richiesta di programmatori e le opportunità di carriera nel campo, che negli anni a venire, dicono, si espanderanno ancora.

Esponenti dell'Amministrazione Obama tratteggiano una visione ambiziosa dello studio scolastico dell'informatica negli Stati Uniti in cui gli studenti tengono il passo di quelli degli altri paesi – nel Regno Unito, osservano, imparare a programmare è obbligatorio per tutti gli studenti dal 2014 – e dove i persistenti divari tra i risultati scolastici degli studenti bianchi e benestanti e quelli delle minoranze e svantaggiati sono colmati dall'insegnamento generalizzato della programmazione.

Realizzare questa visione, però, non sarà facile. L'estensione dell'insegnamento della programmazione a tutti gli studenti statunitensi deve affrontare ardue difficoltà pratiche, dalla carenza di insegnanti qualificati alla mancanza di materiale didattico. La natura radicalmente decentralizzata del sistema scolastico degli Stati Uniti rende difficile mettere in atto riforme di portata nazionale – come ben potrebbe raccontare chi lavora ai Common Core State Standards [un tentativo di definire obiettivi di apprendimento unificati per lingua inglese e matematica in tutto il paese per ognuna delle classi della scuola dell'obbligo, N.d.T.]; e la maggior parte delle scuole ancora non ha aggiornato regolamenti e programmi all'età dell'informazione (ai fini del diploma, spesso i corsi di informatica non valgono come crediti per matematica o scienze, per esempio). E intanto studenti di differenti origini etniche e condizioni socioeconomiche entrano a scuola con enormi disparità nella conoscenza dei computer; e le ricerche effettuate suggeriscono che le scuole spesso perpetuano queste disuguaglianze, offrendo un insegnamento solido e approfondito agli studenti bianchi e benestanti e un'istruzione più superficiale a quelli delle minoranze e a basso reddito.

Inoltre c'è una crescente consapevolezza che saper programmare può essere solo un aspetto della preparazione degli studenti alla vita e al lavoro nel XXI secolo. Programmare è l'aspetto pratico, ma agli studenti serve anche la teoria dell'informatica: la com-

Fotografie di Timothy Archibald

Corsi di informatica: Nancy Se insegna alla Augustus F. Hawkins High School di South Los Angeles, dove il corpo studentesco è per il 99 per cento afro-americano o latino-americano, e per il 75 per cento è economicamente svantaggiato.

prensione dei principi di base con cui operano i computer. Rendere universale questo tipo di «pensiero computazionale» richiederà una massiccia mobilitazione sia fuori – iniziative e risorse extrascolastiche – sia dentro la scuola – formazione degli insegnanti, revisione dei corsi, integrazione dell'informatica nelle altre materie di studio e modifica dei programmi d'esame.

Codici e insegnanti

Vaidyanathan, un master in informatica e sette anni di insegnamento alle spalle, è stata fra i primi a proporre l'idea che ogni studente dovrebbe imparare a scrivere codici informatici. «E intendo proprio tutti gli studenti: femmine, maschi, allievi con bisogni particolari, studenti che si sentono "poco portati" per matematica e scienze», dice. Contrariamente ad altri sostenitori dell'idea, però, mitiga il suo entusiasmo con il realismo. In un colloquio tra un'ora di lezione e l'altra ci indica qualcuno degli ostacoli sul cammino di questa attraente visione. «Tanto per cominciare, gli insegnanti di informatica non sono neanche lontanamente sufficienti per una richiesta che sarebbe enorme», nota.

Secondo i dati del programma Advanced Placement (AP) pubblicati dall'organismo no profit The College Board, nel 2015 solo 4130 scuole superiori negli Stati Uniti proponevano un esame di informatica AP [un esame sulle competenze raggiunte sostenuto, di norma, nell'ultimo anno delle *high school* e considerato esame universitario, N.d.T.]: più o meno, il 12 per cento. Inoltre, un'analisi dei dati dello stesso organismo per il 2013 ha trovato che in tre Stati nessuna studentessa aveva dato questo esame; in otto Stati nessuno studente di origini latino-americane; e in 11 Stati nessuno studente afro-americano. Per inciso, in molti di questi Stati a fare l'esame sono stati comunque in pochi, o anche nessuno. Inoltre un corpo insegnante pronto e già formato semplicemente non c'è, e quello di cui hanno bisogno gli studenti, insiste Vaidyanathan, sono proprio gli insegnanti, esseri umani. «Se gli dai da studiare qualcosa di significativo e impegnativo, prima o poi lo studente si blocca», dice. «E avrà bisogno di un insegnante che lo conosca, che sappia spiegargli il problema in modo da farsi capire, e che gli dia motivazione e sostegno grazie a un rapporto personale e diretto. Non basta un video della Khan Academy».

E non solo gli insegnanti di informatica sono troppo pochi; per l'informatica, per di più, non esistono programmi scolastici largamente accettati. La Computer Science Teachers Association (CSTA) ha definito una serie di standard, classe per classe, dall'asilo alla scuola superiore, che però sono estremamente generici (gli studenti di scuola media inferiore dovrebbero «cominciare a rendersi conto dell'onnipresenza dei computer e di quanto l'informatica facilita comunicazioni e collaborazione»), il che vuol dire che gli insegnanti come Vaidyanathan sono lasciati soli a decidere che cosa insegnare ai loro allievi, e come. E data l'importanza decisiva oggi data ai test di matematica e lettura per la carriera scolastica, spesso l'informatica è semplicemente messa da parte. «C'è meno tempo negli orari scolastici, e meno denaro nei bilanci, per le materie considerate non essenziali», osserva Vaidyanathan.

Prima di passare all'insegnamento dell'informatica, e assumere la responsabilità di specialista della didattica di scienza, tecno-

Insegnare ai professori a insegnare

di Jennifer Frederick

Fra i giovani scienziati in formazione, dal corso di dottorato alle posizioni postdoc, la pressione delle richieste di fondi da scrivere e della costituzione di un laboratorio assumono la priorità sull'insegnamento. Ma una volta entrati a far parte del corpo docente, pochi di questi studenti e postdoc hanno già alle spalle qualche esperienza nella didattica; eppure ci si attende che vadano subito in aula. Nella scuola superiore non sarebbe accettato; perché, allora, per l'università va bene?

Insegnare ai dottorandi a insegnare offre la possibilità di trasmettere una conoscenza scientifica utile per il futuro su che cosa funziona o non funziona in aula. Molti professori universitari, per esempio, continuano a dare un ruolo centrale alle lezioni frontali, anche se le prove mostrano che gli studenti imparano al meglio quando in aula partecipano attivamente a discussioni e attività.

Anche le migliori strategie didattiche ricorrono a pratiche e conoscenze tipiche della ricerca. Si ipotizza che un certo esercizio aiuterà gli studenti ad acquisire un certo concetto, e si integra nel lavoro un modo per poi valutarne l'apprendimento. Proprio come nella ricerca, i risultati di ogni «esperimento» danno informazioni utili alla preparazione delle lezioni successive. Al contrario, nei corsi frontali seguiti da una o poche prove d'esame, dove o si passa o si è bocciati, docente e studenti possono restare ignari di chi segue bene il corso e chi è invece in difficoltà.

Le strategie di coinvolgimento elaborate a partire dalle prove sono associate a un miglioramento dei risultati scolastici, e l'apprendimento attivo può aiutare gli studenti dei gruppi sottorappresentati e «di prima generazione» (cioè senza tradizioni familiari di studi superiori) a colmare il divario. In un'analisi del 2014 su centinaia di studi pubblicati, Scott Freeman e collaboratori hanno trovato che gli studenti dei corsi ad apprendimento attivo ottenevano punteggi più alti del 6 per cento agli esami, e avevano una probabilità di essere bocciati 1,5 volte più bassa, rispetto di quelli che seguivano corsi di lezioni tradizionali. Altri studi hanno trovato che l'apprendimento attivo può ridurre il divario tra i vari gruppi nei risultati scolastici anche del 45 per cento. Il meccanismo che spiega perché questo metodo funziona particolarmente bene soprattutto per certi studenti resta sfuggente. È possibile che dipenda dall'accento posto sulla continuità nel tempo dello studio e dalle frequenti verifiche che aiutano gli studenti a capire che cosa sanno e che cosa no. I risultati degli studi mostrano poi che una corretta strutturazione dei corsi di scienze dei college può incoraggiare gli studenti dei gruppi sottorappresentati a scegliere il campo scientifico.

Le istituzioni riconoscono sempre più l'importan-

logia, ingegneria e matematica (STEM) del Distretto scolastico di Los Altos, Vaidyanathan ha lavorato nell'ingegneria del software per un gigante come Unisys e per due *start-up* della Silicon Valley. La sua esperienza nel settore l'ha resa consapevole di un altro punto dolente dell'idea di fare di ogni studente un programmatore pronto da assumere: «C'è una grossa differenza tra imparare le basi della programmazione e saperne abbastanza per farlo a livello professionale». Il grande divario tra novizi ed esperti nel campo è il motivo per cui ha voluto che il suo distretto introducesse lo studio della programmazione fin dalla materna. «Imparare a programmare è come imparare una lingua straniera», spiega. «Nessuno si aspetterebbe che uno studente parli correntemente francese o spagnolo dopo un corso di un paio di semestri al liceo».

Segregazione virtuale

Particolarmente difficile è la sfida posta dal progetto di estendere l'insegnamento della programmazione oltre i confini di comunità ricche e prevalentemente bianche e asiatiche come Los Altos. I vantaggi di partenza degli studenti di Vaidyanathan sono quasi innumerevoli. Arrivano in classe sapendo bene che cos'è e che cosa fa un computer; qualcuno ha già cominciato a programmare a casa o in attività extrascolastiche. Il corso di programmazione della scuola, pubblica, che frequentano è sostenuto da una fondazione che raccoglie donazioni dalle famiglie degli iscritti del distretto e le redistribuisce. Le scuole del distretto – che a loro volta dispongono di un assortimento completo di computer da tavolo e *tablet* – si trovano nel cuore della Silicon Valley e molti dei genitori degli allievi lavorano nelle vicine sedi centrali di Google, Apple o Facebook. Sono studenti, insomma, che su questa strada ricca di opportunità sono già stati avviati, con dolce fermezza, dagli adulti con i quali vivono. Eppure la presenza di studenti così fortemente privilegiati nelle classi di informatica – e poi, più avanti, in tutto il settore della tecnologia e dell'informatica – è spesso presentata come dovuta a un «naturale» processo di selezione basato sulle preferenze e le capacità innate dei singoli.

Jane Margolis lo conosce bene, questo assunto, e anche il corollario secondo cui allora devono essere gli studenti poveri o di colore a non voler imparare a programmare. Margolis, *senior researcher* dell'Università della California a Los Angeles nella Graduate School of Education and Information Studies, ha studiato a fondo come si insegna l'informatica in tre diverse scuole superiori pubbliche di Los Angeles. Il risultato è stato il libro *Stuck in the Shallow End: Education, Race, and Computing* uscito nel 2008, una preoccupante descrizione di quella che Margolis e coautori chiamano «segregazione virtuale». Gli studenti che vanno a scuola in comunità ricche hanno probabilità molto più alte di accedere a una vasta gamma di offerte nel campo dell'informatica: corsi impegnativi, creativi e collaborativi. A quelli poveri o di colore, invece, sono spesso offerte solo le più elementari istruzioni di copia e incolla al computer, spesso con attrezzature inadeguate.

Anche quando le scuole frequentate da questi ultimi studenti sono ben attrezzate, spesso sono «ricche di tecnologia ma povere di didattica», dicono Margolis e colleghi. Mancano gli elementi essenziali di un vero insegnamento dell'informatica: «Esperienze forti di apprendimento che si susseguono di classe in classe», insieme ad «anni di sostegno e guida approfondita e informata». I programmi didattici, sostengono gli autori, non possono essere a misura unica e uguali per tutti ma devono invece tenere conto delle disparate storie dei diversi gruppi razziali ed etnici nell'accesso a tecnologia e formazione. Sono storie «così differenti, con un campo di gioco così irregolare, un divario così vasto e profondo, che le persone oggi vivono in due mondi diversi», osservano

Pochi fra i giovani che entrano
nel corpo docente delle università sono preparati all'insegnamento.
Ma le cose stanno cambiando.

za di opportunità di formazione didattica durante e dopo i corsi di dottorato. Negli Stati Uniti fra le iniziative di portata nazionale ci sono le *fellowship* degli Institutional Research and Academic Career Development Awards dei National Institutes of Health, che danno ai ricercatori post-dottorato una formazione di qualità ed esperienze di insegnamento in istituti per minoranze. La rete del Center for the Integration of Research, Teaching and Learning Network si rivolge a studenti di dottorato e postdoc in quanto futuri docenti universitari e li impegna in campus e comunità virtuali di apprendimento, dando l'opportunità di acquisire competenze per la carriera accademica.

I programmi formali orientati alla didattica per i ricercatori post-dottorato non sono molti, ma il Center for Teaching and Learning della Yale Univesity, da me diretto, ha di recente istituito un programma di formazione didattica con una particolarità unica: dopo due anni di formazione e insegnamento in aula con mentore, il terzo anno è dedicato all'insegnamento, con tutte le responsabilità correlate in un'istituzione partner regionale. Partenariati strategici con un *community college* [università pubbliche che offrono lauree di primo livello, N.d.T.] e in un istituto privato per studenti di gruppi sottorappresentati o di prima generazione della zona assicurano che i postdoc acquisiscano competenze concrete d'insegnamento in situazioni d'aula di forte diversità.

La letteratura delle scienze dell'educazione non riporta ancora forti correlazioni tra formazione didattica dei docenti universitari e risultati degli studenti. Uno studio recente mostra però che i dottorandi con alle spalle più di 55 ore di formazione didattica vanno in aula con maggior sicurezza ed entrano più facilmente a far parte del corpo accademico. Saranno le prossime indagini di verifica a dimostrare l'impatto della formazione didattica sui postdoc e, in definitiva, sui loro studenti.

I postdoc formati a tecniche di insegnamento basate su prove scientifiche hanno gli strumenti per insegnare in maniera efficace e inclusiva. Promuovere un reale impegno nell'insegnamento è un bene per tutti, e i particolari benefici che ciò può dare agli studenti universitari di gruppi sottorappresentati e di prima generazione sono un fattore critico per facilitarne l'accesso alla scienza.

Jennifer Frederick, direttrice del Center for Teaching and Learning della Yale University, dirige iniziative che promuovono l'eccellenza nell'insegnamento e sostengono in generale gli studenti del campus nell'apprendimento. Chimica di formazione, Frederick dirige inoltre i Summer Institutes on Scientific Teaching, un programma nazionale di formazione per docenti

Margolis e coautori. La disinvolta familiarità con i computer che si dà per scontata negli studenti benestanti può essere assente fra i loro coetanei meno privilegiati. Una reale parità d'accesso all'istruzione informatica, mi dice Margolis, «è una delle questioni di diritti civili del XXI secolo».

Documentate sul campo le grandi diseguaglianze della situazione, dice, «abbiamo sentito il bisogno di fare qualcosa». E hanno messo in piedi il progetto Exploring Computer Science (ECS), un partenariato tra università e scuole che ha sviluppato programmi didattici introduttivi per studenti di informatica delle superiori. L'ECS offre inoltre corsi di formazione professionale agli insegnanti del Distretto scolastico unificato di Los Angeles e di una ventina di altri distretti in tutto il paese. Gli insegnanti che partecipano imparano a dare un'istruzione informatica pratica rigorosa ma interessante per gli alunni, ed entrano a far parte di una rete di docenti attiva e sempre più estesa. Altre iniziative, come quelle denominate Black Girls Code e Hack the Hood, sono centrate piuttosto sul tempo extrascolastico, per esempio con *workshop* nei fine settimana e campi estivi; l'impegno di Margolis e il suo gruppo invece è per gli studenti svantaggiati delle loro scuole, consci delle barriere finanziarie e pratiche che spesso impediscono a quegli studenti di approfittare delle opportunità extrascolastiche.

È lo stesso impegno di Nancy Se. Formatasi nel progetto Exploring Computer Science nel 2013, è poi diventata a sua volta «leader di formazione» dell'ECS, e aiuta altri insegnanti a imparare come coinvolgere gli allievi nello studio dell'informatica. Insegna all'Augustus F. Hawkins High School di South Los Angeles, dove nell'anno scolastico 2013-2014 il 99 per cento del corpo studentesco era afro-americano o latino-americano e il 75 per cento «economicamente svantaggiato» secondo la definizione ufficiale del rapporto *U.S. News & World Report*. Se vede ogni giorno da vicino le sfide che il movimento «programmazione per tutti» deve affrontare. «Molti miei studenti non hanno computer a casa», dice. «Il loro unico accesso a Internet è il telefonino, che usano per giochi e messaggi.» Data questa limitata familiarità con la tecnologia, i suoi studenti hanno molta strada da fare: devono imparare non solo le molteplici funzioni dei computer, ma anche il fatto che, «dietro le quinte», ci sono persone che progettano e programmano le macchine. E la cosa più scoraggiante sono gli stereotipi che i suoi studenti devono superare a proposito di «per chi» sia l'informatica. «Lavorare con i computer, saperli programmare, sono attività estranee all'identità che si sono costruiti già al liceo», nota. «I miei studenti e io non esploriamo solo una materia scolastica. Reinventiamo il loro senso di sé a fronte di messaggi culturali forti».

Pensiero computazionale

Sfogliando i temi scritti dagli allievi dell'ultimo anno, Se indica un brano in cui una ragazza esprime la speranza di avere un reddito stabile, per sé e il suo bambino. «Prima di fare il corso di informatica non mi era mai neanche passato per la testa che avrei potuto essere coinvolta in questo campo o addirittura prenderci il diploma», scrive la studentessa. «Da madre *single* che vuol dare il miglior futuro possibile al mio bambino, penso anche che sarebbe una gran cosa avere un lavoro che amo e mi dia sicurezza finanziaria». Un altro studente scrive: «Nella mia vita sono sempre stato in mezzo a difficoltà economiche. Eppure rifiuto di lasciarmi abbattere dai limiti delle mie risorse. Al contrario, mi motivano a usare l'istruzione come una strada e una guida per affermarmi nella vita. Punto ad avere, un giorno, il diploma di animatore in grafica computerizzata, con uno stipendio medio di 50.281 dollari all'anno. Aspiro a mettere fine alle mie attuali difficoltà finanziarie e a prendermi cura di una mia famiglia».

Studenti presentano animazione (*1*), storyboard (*2* e *3*) ed elementi grafici (*4*) per i progetti che stanno elaborando. Nancy Se dice che i suoi allievi stanno facendo molto più che programmare computer: stanno reinventando il proprio senso di sé.

In effetti, una ragione spesso citata per espandere l'insegnamento della programmazione, specialmente nelle comunità povere, è che se non la conoscono, i giovani saranno tagliati fuori da un settore che paga bene. Molti critici però sostengono che puntare solo a una competenza tecnica come la programmazione non è un approccio sostenibile. Larry Cuban, professore emerito di scienze dell'educazione alla Stanford University, ricorda l'esperimento fatto dagli Stati Uniti con Logo, uno dei primi linguaggi di programmazione, negli anni settanta e ottanta. Guidato da Seymour Papert, professore del Massachusetts Institute of Technology, il tentativo di insegnare Logo è fiorito e poi fallito, dice Cuban, perché non dava agli studenti le complesse abilità e le ampie conoscenze di cui hanno bisogno. E Cuban prevede lo stesso destino per il movimento della «programmazione per tutti», a suo avviso proposto con insistenza alle scuole da grandi imprenditori che guardano ai propri profitti: è una «riforma di carta velina», che «si usa una o due volte, poi si sbriciola e si butta».

Ma se la risposta non è insegnare a scrivere i codici – o almeno non basta – allora qual è? Jeannette M. Wing crede di averlo capito: il pensiero computazionale. *Consulting professor* di informatica alla Carnegie Mellon University e vicepresidente della divisione ricerca di Microsoft, Wing ha pubblicato nel 2006 su un'oscura rivista scientifica un articolo che in breve è diventato un classico. «La capacità di pensiero computazionale è essenziale per tutti, non solo per gli informatici», scriveva. Questa modalità di pensiero, spiegava, «coinvolge la soluzione di problemi, la progettazione di sistemi e la comprensione del comportamento umano, attingendo ai concetti fondamentali su cui si basa l'informatica».

«Del pensiero computazionale fanno parte capacità di astrazione, ragionamento logico e simbolico, saper prendere un grosso problema e scomporlo in tanti problemi più piccoli», afferma Wing. «Sono abilità che possono servire a tutti, che usino o meno il computer».

Nel suo articolo scriveva: «Oltre lettura, scrittura e aritmetica, dovremmo aggiungere il pensiero computazionale alle capacità analitiche di ogni bambino». Un'educatrice che ha risposto alla chiamata è Aileen Owens, la quale ispirandosi alle idee di Wings ha dato al pensiero computazionale un ruolo centrale nei programmi scolastici del Distretto scolastico di South Fayette Township, fuori Pittsburg, dove è responsabile di tecnologia e innovazione. A suo modo di vedere, l'insegnamento dei pensiero computazionale deve iniziare presto e farsi via via più approfondito e complesso con una serie graduata di progetti interconnessi.

A South Fayette, dalla scuola materna alla seconda elementare gli alunni cominciano a imparare i concetti dietro la programmazione con un *software* di «programmazione a blocchi». Nel programma, chiamato Scratch, gli alunni possono selezionare e trascinare blocchetti contenenti singoli comandi – «Avanza di 10 passi», «Aspetta 5 secondi», «Volta a sinistra di 90 gradi». Disponendo in un ordine ben preciso una serie di questi comandi gli alunni fanno accadere cose sul proprio schermo (un personaggio a cartoni animati avanza, si ferma e si gira verso sinistra) e cominciano a capire più in generale come dare istruzioni ai computer, istruzioni che si fanno più complesse via via che crescono. Dalla terza alla quinta gli alunni programmano motori e sensori e

costruiscono con il Lego robot che si muovono sotto il loro controllo. Nei tre anni che in Italia corrispondono alla scuola media inferiore si insegna progettazione assistita da computer (CAD); gli studenti usano un programma CAD per disegnare le proprie invenzioni e ne realizzano i prototipi con una stampante 3D. In seconda media sono ormai passati dalla programmazione a blocchi a quella testuale, e scrivono i codici nel linguaggio più complesso ma più flessibile usato dai programmatori di professione.

«In ciascuna fase, l'obiettivo è costruire l'impalcatura del pensiero computazionale, in modo che ogni nuovo livello di acquisizione sia basato su quello precedente», spiega Owens. «È molto di più che saper programmare. Si tratta di trasmettere un'attitudine mentale che può servire per risolvere problemi in ogni campo: dividere un problema nelle sue singole componenti, fare esperimenti su scala ridotta per vedere quale approccio funziona e quale no, lavorare con altri per trovare e applicare le idee più valide». Usare queste strategie in situazioni diverse fa vedere agli studenti che il pensiero computazionale è utile ben oltre il mondo del computer.

Anche i bambini più piccoli possono acquisire questa attitudine mentale. «Ai nostri bambini insegniamo a essere persone che risolvono problemi, a valersi di logica e pensiero astratto, a individuare regolarità e andamenti ricorrenti, a trovare alternative», dice Melissa Unger, che insegna scienze, tecnologia, ingegneria, arte e matematica (STEAM) dalla materna alla seconda elementare alla South Lafayette. «Partiamo da domande tipo: "Che cosa sono le istruzioni? Come puoi dare istruzioni al computer, fargli capire

4

che cosa vuoi che faccia?" Diciamo agli alunni di "programmare" i propri compagni: devono guidarli in un labirinto mostrando loro dei cartelli con frecce indicatrici».

Come Los Altos, South Fayette è una comunità benestante e altamente istruita, abitata da docenti delle numerose università della zona e professionisti del florido settore tecnologico di Pittsburgh. Ma il pensiero computazionale si può insegnare anche agli altri bambini, come dimostra l'esempio della Excel Public Charter School di Kent, nello Stato di Washington. Gli iscritti sono per il 37 per cento afro-americani e per il 19 per cento latino-americani; più della metà ha diritto a buoni pasto gratuiti o scontati. Anche se la scuola dista solo 35 chilometri da Seattle, dove hanno sede giganti come Amazon e Microsoft, gli studenti della Excel si sentono spesso tagliati fuori dal mondo dei computer.

Eli Sheldon, direttore del programma di pensiero computazionale della scuola, punta a cambiare questa situazione. «Lavoro con i docenti per incorporare il pensiero computazionale nelle loro materie, che si tratti di inglese, matematica o biologia», dice. «Dato che incontrano gli stessi strumenti concettuali in tanti corsi diversi, gli studenti arrivano a vedere come possono essere applicati universalmente, anche fuori dalla scuola». Con un docente di matematica, Sheldon ha realizzato un'unità didattica per l'analisi dei dati dei movimenti di una partita di basket tra squadre professionistiche; e insieme a un insegnante di materie umanistiche ha sviluppato casi di studio interattivi tratti dal sistema penale.

I proponenti del pensiero computazionale ritengono che abbia tutte le qualità che mancano ai semplici corsi di programmazione: è una disciplina intellettualmente ricca e profonda; un insieme flessibile di strumenti mentali che possono essere usati in molte e disparate situazioni; e un *corpus* di conoscenze e abilità di genuina e duratura utilità a scuola, sul lavoro e oltre.

Prima di approdare alla Excel, Sheldon è stato per quattro anni *program manager* di Microsoft, dove ha visto il pensiero computazionale applicato nel mondo reale. «Ogni volta ho visto gli ingegneri prendere un problema incredibilmente complesso e risolverlo con il pensiero computazionale», racconta. «Erano bravissimi a scomporre il problema, disporne i pezzi secondo logica e testarne un pezzo alla volta per vedere in che modo un piccolo cambiamento poteva riflettersi sui risultati. Li guardavo e pensavo: "Questo dovrebbero saperlo fare tutti"».

A livello nazionale, l'approccio all'istruzione informatica sta ancora prendendo forma. Kumar Garg, *assistant director* per l'istruzione e l'innovazione del White House Office of Science and Technology Policy, è fra coloro che coordinano e guidano il lavoro. E ha qualche successo da mostrare: «Quando è entrato in carica il presidente Obama, c'erano solo 11 Stati in cui i corsi di informatica valevano per il diploma», osserva Garg. «Il cambiamento è stato netto: adesso in 28 Stati e nel Distretto federale di Washington sono ammessi per i crediti richiesti in matematica e scienze». Garg loda anche il «riavvio» del corso di informatica AP oggi in atto al College Board. Corso ed esame rinnovati saranno centrati su programmazione e pensiero computazionale, insieme: un approccio che Garg appoggia. «Gli studenti hanno certamente bisogno di apprendere i fondamenti dell'informatica, ma programmare può aiutarli a capire a che cosa serve», spiega.

Con l'iniziativa Computer Science for All, dice Garg, l'amministrazione Obama ha chiesto ai distretti scolastici di proporre piani quinquennali per espandere l'accesso all'istruzione informatica; i distretti che presentano proposte valide avranno fondi per realizzarle. Ovviamente ci sono scuole che non aspettano i lenti ingranaggi del governo per cominciare a innovare l'insegnamento con l'informatica e altre che devono ancora partire. Viene in mente una frase attribuita a William Gibson, scrittore di fantascienza che nei suoi scritti esplora le interazioni tra esseri umani e tecnologia: «Il futuro è già qui», pare abbia osservato. «Solo che non è ancora ben distribuito». ■

PER APPROFONDIRE

Computational Thinking. Wing J.M.,in «Communications of the Association for Computing Machinery», Vol. 49, n. 3, pp. 33-35, marzo 2006.

Stuck in the Shallow End: Education, Race and Computing. Margolis J., MIT Press, 2008.

Sull'iniziativa Computer Science for All del presidente Barack Obama, che intende dare a un'intera generazione di studenti statunitensi abilità e competenze informatiche necessarie per prosperare in un'economia digitale: **www.whitehouse.gov/blog/2016/01/30/computer-science-all.**

Imparare con le macchine. Fletcher S., in «Le Scienze» n. 540, agosto 2013.

AGRICOLTURA

Una soluzione all'acqua salata

Il sale nell'acqua usata per l'irrigazione danneggia sempre più i terreni agricoli. Riso e altre colture geneticamente modificate per resistere all'ambiente salino potrebbero nutrire milioni di persone

di Mark Harris

Eric Rey estrae un contenitore di plastica pieno di riso bollito. I chicchi sembrano normali. Il profumo è quello del riso normale. Anche al sapore i chicchi appaiono normali: morbidi, masticabili e un po' insipidi. Il mio desiderio di prendere un po' salsa di soia dagli scaffali della cucina della Arcadia Biosciences – la società di cui Rey è amministratore delegato – è un po' strano, perché questo riso è stato coltivato in una soluzione salina concentrata che ucciderebbe la maggior parte delle piante terrestri.

È una varietà di riso geneticamente modificata per resistere all'elevata salinità, a imitazione delle cosiddette alofite, o piante alofile, che crescono vicino agli oceani, in insenature e lungo coste paludose. Sono sorpreso che i chicchi che assaggio non siano immangiabili; anzi, in un confronto «alla cieca» con riso non modificato coltivato in acqua dolce non riesco a trovare differenze.

«Il riso è la coltura più importante del mondo ma in alcune regioni della Cina dove la salinità dell'acqua è andata continuamente crescendo, non è quasi più possibile coltivarlo», spiega Rey. A suo parere, le nuove scoperte sui geni che consentono alle alofite di resistere all'elevata salinità, combinate con i moderni metodi biotecnologici per l'inserimento di quei geni nel riso e in altre piante, potrebbero rappresentare una soluzione per fornire nutrimento alla popolazione sempre più numerosa del nostro pianeta.

Quasi un quarto delle aree irrigue della Terra è affetto dalla crescente salinità del suolo a causa di pratiche di irrigazione non idonee. Inoltre l'innalzamento del livello del mare minaccia altre decine di milioni di ettari di terreno agricolo, esposti alla possibile infiltrazione di acqua salata. Se in queste regioni con suoli a elevata salinità si riuscissero a coltivare piante adatte, si potrebbe produrre cibo per decine di milioni di persone, un passo fondamentale per sfamare i 2 miliardi di bocche in più previste a metà del secolo.

Non è un'illusione, sostiene Eduardo Blumwald, biologo delle piante presso l'Università della California a Davis, dalle cui ricerche è nato il riso prodotto da Arcadia. «Ritengo che oggi sia possibile usare per l'agricoltura acqua di scarsa qualità, stagnante e riciclata, e persino acqua marina diluita», afferma. Circa 1100 chilometri a sud di Seattle, le serre di Blumwald al campus pullulano di piantine di riso che spuntano da pozze di acqua salata. Insieme ad altri scienziati di varie parti del mondo, Blumwald trasferisce geni da alofite a piante coltivate: non solo riso, anche frumento, orzo e pomodoro. (E sono in corso studi anche sul cotone.)

Fotografia di Plamen Petkov

Perché queste colture si affermino, però, dovranno uscire dalle serre e dimostrare di saper resistere al maltempo, alla siccità e agli insetti nocivi del mondo reale. Dovranno anche riuscire a sopravvivere a una tempesta di obiezioni, sia di tipo regolatorio sia attinenti alla sicurezza, da parte di politici, scienziati e agricoltori.

Sono in molti a temere le conseguenze del trasferimento di geni da un organismo a un altro. E simili progetti, osservano gli oppositori, espongono a queste incertezze alcune delle popolazioni più povere e vulnerabili del mondo. Oltre a ciò, fa notare Janet Cotter, consulente ambientale, produrre piante alimentari che possono essere coltivate in presenza di elevati livelli di sale non fa che incoraggiare pratiche di irrigazione scorrette. «Quando si irriga male, si cade in un circolo vizioso non sostenibile», conclude.

Dal laboratorio alla serra

Le piante alofile, il cui nome significa appunto «amanti del sale», sono in grado di sopravvivere in condizioni di salinità compresa tra quella di un Bloody Mary e quella dell'acqua marina. Le mangrovie fanno parte di questa categoria: sono di piante dotate di un aspetto (e di un sapore) poco invitante, con protuberanze nodose, rade foglie di aspetto poco florido o radici prominenti. I primi tentativi di rendere popolari le alofile provavano a stimolare il potenziale mercato proponendo le mangrovie come materiale da costruzione, le alofite succulente come materia prima per biocombustibili, i cespugli in grado di tollerare il sale come foraggio per animali. Ma in assenza di mercati per simili colture di nicchia i progetti erano destinati all'insuccesso.

Quando Blumwald iniziò le sue ricerche sulle alofite, a metà degli anni novanta, queste piante erano considerate per lo più semplici curiosità botaniche. Blumwald, tuttavia, si interessò a una proteina transmembrana presente nelle alofite che è in grado di effettuare il cosiddetto antiporto (il trasporto simultaneo di due soluti che attraversano la membrana cellulare muovendosi in direzioni opposte). Questo meccanismo accelera lo scambio di sodio (contenuto nel sale) e ioni idrogeno attraverso la membrana. L'assorbimento di sodio da parte di una pianta perturba i processi enzimatici, la distribuzione dell'acqua nelle varie parti dell'organismo vegetale e, infine, la stessa fotosintesi. Blumwald scoprì che, modificando geneticamente piante comuni in modo che sintetizzassero grandi quantità di questa proteina trasportatrice, era possibile ottenere piante in grado di crescere in acqua di salinità pari a un terzo di quella marina, senza conseguenze negative. La proteina segregava gli ioni sodio in vacuoli – comparti separati nell'interno della cellula – dove non potevano nuocere. In alcune piante alofile questi vacuoli raggiungono dimensioni così grandi da essere chiamati vescicole saline. La quinoa, una alofita ormai affermata come pianta alimentare, ha vescicole che assomigliano a minuscole sfere traslucide sulle foglie.

Quando Blumwald aumentò i livelli di proteina trasportatrice di un'antica varietà di pomodoro, le piante riuscirono a crescere in acqua «quattro volte più salata della zuppa di pollo», ricorda. E produssero frutti rossi, tondi, dolci e sugosi, ciascuno del peso di parecchie decine di grammi. Ma, pur prosperando in laboratorio, le creazioni di Blumwald incontrarono parecchie difficoltà

Mark Harris è un giornalista residente a Seattle e si occupa di scienza e tecnologia.

nel mondo reale. «Funziona tutto a meraviglia in serra, dove si ha un'umidità relativa almeno del 40 per cento», spiega. In condizioni più secche, le piante perdono umidità attraverso le foglie e per difesa chiudono i pori. Quindi la coltivazione diventa molto più difficile «quando si passa in campo, con un'umidità del 5 per cento e molta meno acqua disponibile».

Il problema è che la capacità di segregare il sodio non è l'unico requisito per crescere bene in un suolo a elevata salinità. Le piante hanno migliaia di geni coinvolti in un gran numero di processi biologici, che possono aiutare l'organismo a far fronte a molti tipi di stress, quali il calore, la siccità o la salinità. Perché la pianta sia in grado di crescere in un ambiente salino è necessario che molteplici geni modifichino la propria attività in senso protettivo quando le condizioni diventano difficili. Non c'è un unico «proiettile magico», spiega Simon Barak, *senior lecturer* di biologia vegetale alla Ben-Gurion University del Negev, in Israele, «ma abbiamo messo a punto un metodo informatico per analizzare i geni e identificare quelli che hanno le maggiori probabilità di essere coinvolti nella tolleranza agli stress».

Barak ha costruito un database di geni dello stress raccogliendo i dati degli esperimenti su *Arabidopsis thaliana* (una pianta comunemente usata nella ricerca agronomica). Mediante analisi statistiche che gli hanno permesso di quantificare l'importanza di ciascun gene per la sopravvivenza della pianta in condizioni quali l'eccesso di calore, ha identificato un buon numero di geni promettenti. Poi ha condotto esperimenti su piante con versioni mutate di questi geni, per stabilire come riuscissero a far fronte a condizioni ostili. I mutanti che mostravano tolleranza alla siccità, alla salinità o al calore erano classificati come meritevoli di ulteriori ricerche. «Nei classici studi di *screening* genetico per identificare nuovi mutanti si prendono in considerazione migliaia di piante, ma non più dell'1-3 per cento risulta interessante», afferma Barak. «Noi abbiamo avuto una percentuale di successo del 62 per cento».

Altri ricercatori hanno tentato di chiarire i meccanismi della sopravvivenza in condizioni di elevata salinità combinando la biologia con la statistica e l'informatica. Alcuni anni fa, per esempio, mentre lavorava al Central Salt & Marine Chemicals Research Institute di Gujarat, in India, Narendra Singh Yadav scoprì parecchi geni associati alla tolleranza al sale in un'altra alofita, la salicornia. Non sapeva esattamente quale fosse la funzione di questi geni, ma le sue analisi facevano pensare che svolgessero un ruolo importante. Per verificarlo, Yadav inserì due di questi geni nel tabacco, normalmente assai vulnerabile all'elevato tenore salino. Quando vennero fatte crescere in acqua di salinità pari a un terzo di quella marina le piantine transgeniche germinarono meglio, presentando radici e fusticini più lunghi, e risultarono più grandi e folte delle piante non modificate. Pur non sviluppando vescicole saline visibili, le piante modificate avevano livelli ridotti di specie reattive dell'ossigeno, molecole nocive che si accumulano in condizioni di stress da elevato tenore salino. Oggi Yadav si è trasferi-

IN BREVE

Quasi un quarto dei terreni agricoli di tutto il mondo presenta livelli crescenti di salinità, nociva per le piante.

La ricerca genetica ha escogitato metodi per modificare le piante di riso e pomodoro con geni che migliorano la tolleranza all'ambiente salino.

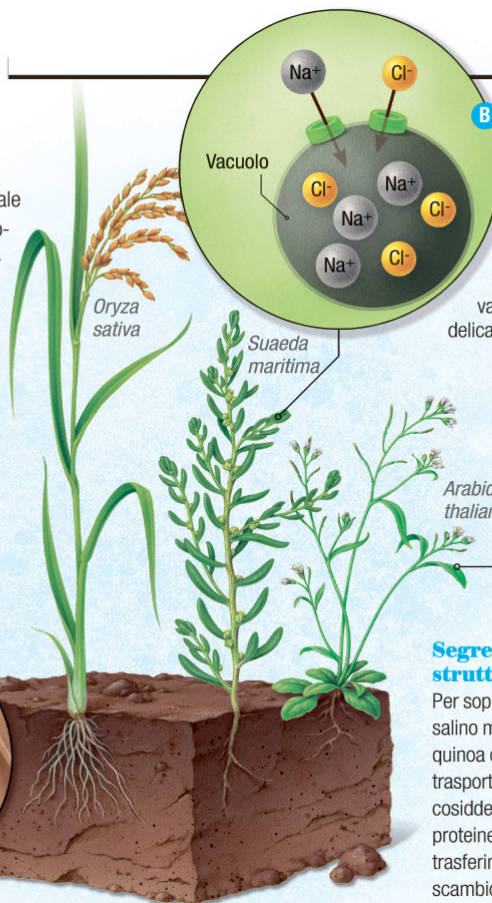
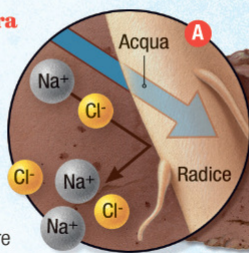
Queste piante potrebbero nutrire milioni di persone; ma vi sono timori riguardo a possibili effetti imprevisti delle modificazioni genetiche.

Pagine precedenti: pianta di pomodoro cortesia Jan Hickcox, Marilyn Hock e March Farms di Bethlehem, Conn.

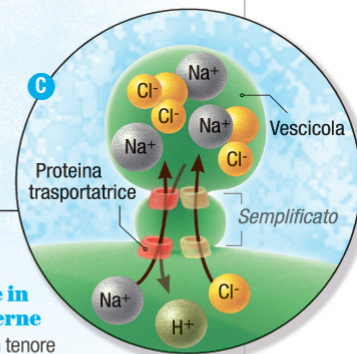
BIOLOGIA DELLE PIANTE

Tre strategie

Tutte le piante possono tollerare una certa quantità di sale (cloruro di sodio) nel suolo. Gli ioni sodio e cloruro vengono assorbiti dalle cellule vegetali e trasferiti nei vari tessuti, ma a livelli elevati possono pregiudicare processi biochimici fondamentali. La maggior parte delle piante ha barriere fisiche o chimiche a livello delle radici per impedire l'assorbimento di questi ioni (A), ma le cosiddette alofite possono contare su un'ulteriore risorsa. Speciali proteine presenti in queste piante sono in grado di trasferire grandi quantità di ioni sodio e cloruro in comparti per l'immagazzinamento interni (B) o esterni (C) alle cellule vegetali. Questi spazi sono ben separati dai delicati meccanismi cellulari di crescita e fotosintesi.

Metodo della barriera
Le barriere fisiche e biochimiche a livello delle radici permettono l'assorbimento dell'acqua ma escludono gli ioni sodio (Na^+) e cloruro (Cl^-) in molte piante, come il riso (*Oryza sativa*). Ma le barriere sono efficaci solo a livelli di salinità relativamente bassi.

B Immagazzinamento nell'interno della cellula
Le alofite fanno fronte all'eccesso di sodio e cloruro anche quando questi ioni raggiungono le foglie. *Suadea maritima*, ha proteine canale (*in verde*) che trasferiscono gli ioni in «tasche» interne alla cellula, i vacuoli, affinché non interferiscano con i delicati processi biochimici della pianta.

Segregazione in strutture esterne
Per sopportare un tenore salino molto elevato, alofite come la quinoa o *Arabidopsis* usano speciali proteine trasportatrici (*in rosso*) in grado di effettuare il cosiddetto antiporto. Assistite da altre proteine (*in marrone*), favoriscono il trasferimento di sodio e cloruro, mediante lo scambio simultaneo con ioni idrogeno (H^+), in vescicole sporgenti sulle foglie o sul fusto.

Cherie Sinnen

to in Israele, nel team di Barak, mentre il suo precedente gruppo di ricerca nel Gujarat è al lavoro su una versione della pianta di cotone capace di tollerare un ambiente salino.

Il gruppo di Blumwald all'Università della California gestisce decine di serre e conduce esperimenti su migliaia di piante transgeniche, dall'alfa alfa al miglio perlato (*Pennisetum glaucum*), dalle arachidi al riso. Si tratta in gran parte di modificazioni di varietà commerciali di successo, e ciascun esperimento cerca di replicare condizioni di stress esistenti in natura. Enormi ventilatori simulano venti incostanti, l'acqua è fornita a intervalli irregolari o in grandi quantità per brevi periodi, e le piante sono esposte a salinità e temperature elevate. «Sono stanco di portare in campo le nostre piante e vederle morire», afferma. «Si può usare acqua marina per le colture? Non ne sono convinto. Le piante potrebbero anche crescere, ma il loro valore nutritivo sarebbe scarso. E se invece si usasse acqua marina diluita o acqua riciclata? Sarebbe un'altra storia».

Timori naturali

Le modificazioni genetiche rimangono però un tema controverso in molte parti del mondo. «Non si può mai essere certi che altri sistemi e meccanismi della pianta non vengano alterati – spiega Cotter – né se questo possa avere ricadute sulla sicurezza alimentare o ambientale». La sua preferenza va a un metodo denominato selezione assistita da marcatori, nel quale gli strumenti della genomica vengono usati per identificare geni per la tolleranza all'ambiente salino nelle forme selvatiche delle piante coltivate; queste piante resistenti vengono quindi ibridate con metodi naturali con le piante domesticate, reintroducendo così il gene di interesse nelle colture. Anche Timothy Russell, dell'International Rice Research Institute, è scettico. «A mio parere le piante geneticamente modificate non sono un serio problema, ma è molto più semplice introdurre sul mercato varietà selezionate con metodi convenzionali», afferma. «Siamo convinti di poter ottenere una ragionevole tolleranza a condizioni di alta salinità con le sole tecniche convenzionali. Perché scegliere una strada più complicata quando non serve?».

Secondo i sostenitori delle colture GM, una buona ragione per usarle sono i tempi più rapidi. Le tecniche tradizionali di incrocio, selezione e reincrocio richiedono molto tempo. È probabile che piante tolleranti all'elevata salinità ottenute con l'ingegneria genetica arrivino sul mercato molto prima delle varietà selezionate in maniera convenzionale, forse entro i prossimi quattro anni. Il riso che ho assaggiato alla Arcadia Biosciences è giunto alle ultime fasi di sperimentazione sul campo in India, e il processo di approvazione regolatoria in quel paese sta per iniziare. In acqua di salinità fino a un decimo dell'acqua marina la pianta ha una resa superiore del 40 per cento rispetto al riso convenzionale e Rey prevede che una varietà successiva potrà avere una resa doppia. «Una resa migliore significa che i contadini guadagnano, guadagniamo noi e le risorse di acqua dolce vengono intaccate di meno», conclude. ■

PER APPROFONDIRE

Engineering Salt Tolerance in Plants, Apse M.P. e Blumwald E., in «Current Opinion in Biotechnology», 13, n. 2, pp. 146-150, 1° aprile 2002.

The Development of Halophyte-Based Agriculture: Past and Present, Ventura Y e altri, in «Annals of Botany», 115, n. 3, pp. 529-540, febbraio 2015.

Plant Salt Tolerance: Adaptations in Halophytes, Flowers T. J. e Colmer T.D., in «Annals of Botany», 115, n. 3, pp. 327-331, febbraio 2015.

Ogni tigre ha uno schema unico di strisce, che rende possibile l'identificazione di esemplari nelle foto e quindi permette di contarli.

CONSERVAZIONE

SULLE TRACCE DELLA TIGRE

La scienza che studia questi felini elusivi ha fatto grandi passi avanti, ma le agenzie che si occupano di conservazione sono rimaste indietro

di K. Ullas Karanth

IN BREVE

Il numero di tigri in libertà è diminuito al punto che la specie ora si trova solo nel 7 per cento del territorio precedentemente occupato.
Il destino delle tigri è legato alle 40 o 50 popolazioni con una speranza ragionevole di recupero. Queste popolazioni devono essere monitorate con attenzione.
Ma molte organizzazioni conservazioniste usano metodi obsoleti per censire gli animali, producendo conteggi ambigui e fuorvianti.
Nuove conoscenze sulle minacce alla sopravvivenza delle tigri e nuove tecniche che forniscono stime migliori su dove vivono questi felini, e in quale numero, sono la chiave per salvarli dall'estinzione.

Cortesia Kalyan Varma

K. Ullas Karanth è *senior scientist* alla Wildlife Conservation Society di New York. Ingegnere di formazione, in seguito è diventato biologo conservazionista. Karanth studia le tigri da più di trent'anni.

Da ragazzo abitavo nell'India sud-occidentale, nella rigogliosa natura selvaggia della regione collinare chiamata Malenadu, nello Stato del Karnataka, ed ero affascinato dalle tigri. Questo interesse era alimentato dai molti rituali, nella nostra cultura, basati sulla tigre. Per esempio, durante la festa autunnale di Dasara, in cui si celebra il trionfo del bene sul male, i danzatori Huli-Vesha colorano il loro corpo muscoloso di ocra, bianco e nero, e imitano gli eleganti movimenti della tigre in un crescendo di tamburi. È uno spettacolo elettrizzante. Ma la realtà attorno a me era molto più deprimente: allevatori e cacciatori «sportivi» stavano uccidendo le ultime tigri selvatiche, e l'industria del legname abbatteva senza sosta gli alberi della foresta.

Arrivato all'adolescenza, all'inizio degli anni sessanta, avevo abbandonato il sogno di vedere una tigre in libertà nel suo ambiente naturale.

Pochi anni dopo però assistemmo a quello che sembrava un vero miracolo. In risposta al crescente clamore dei conservazionisti, il primo ministro indiano Indira Gandhi mise in atto rigide misure protezioniste, e istituì diverse riserve naturali. Nei decenni successivi l'interesse mondiale per la protezione della tigre aumentò: molti paesi bandirono la caccia alla tigre e cercarono di riconciliare le profonde contraddizioni tra necessità della conservazione delle foreste per il bene degli animali e necessità dell'uomo. L'India si comportò meglio di molte altre nazioni in cui la tigre vive in natura: sebbene solo il 20 per cento dell'habitat naturale del felino si trovi sul suo territorio, l'India ospita il 70 per cento delle tigri libere nel mondo. Un grande successo, vista la pressione della sua popolazione, 1,2 miliardi di persone, la povertà cronica e una crescente economia industriale.

Nonostante queste iniziative conservazioniste, però, il numero di tigri ha continuato a diminuire in tutta l'Asia. Solo due secoli fa le tigri selvatiche vivevano in 30 paesi asiatici, dai canneti del Mar Caspio alle distese di conifere in Russia, dai boschi indiani alla foresta tropicale in Indonesia. Quell'enorme territorio è diminuito del 93 per cento, collassato a una piccola area divisa tra non più di una manciata di nazioni. E le popolazioni di tigri che hanno una seria possibilità di ripresa occupano un'area ancora più piccola: solo lo 0,5 per cento del territorio originario.

Il destino di questi gruppi di 40 o 50 tigri, chiamati «popolazioni sorgente» perché sono gli unici di dimensioni sufficienti per riuscire a sostenere la riproduzione, è in bilico. La maggior parte è isolata e circondata da presenze umane ostili. Come pazienti in terapia intensiva, queste popolazioni necessitano di monitoraggio costante. Eppure, anche dopo grandi sforzi conservazionisti, il monitoraggio delle tigri è un'eccezione, non la regola. Il risultato è che gli scienziati non sanno con precisione quale sia la situazione. I metodi tradizionali di studio sono a malapena sufficienti per determinare le regioni dell'Asia in cui si trovano le tigri; non riescono a fornire una stima sul numero degli esemplari. In verità, gran parte dei numeri sbandierati dai conservazionisti sui mezzi di comunicazione non ha solide basi scientifiche.

In anni recenti, con i miei colleghi, abbiamo affrontato il problema di come contare questi felini sfuggenti. Combinando trappole fotografiche, che immortalano gli animali al loro passaggio, con programmi che riescono a identificare i singoli esemplari, e sofisticate analisi statistiche per stimare la dimensione di una popolazione a partire da campioni di fotografie, abbiamo ottenuto un quadro più completo della situazione di diverse popolazioni di tigri. In futuro la sfida sarà convincere le organizzazioni conservazioniste a usare questi metodi più sofisticati di sorveglianza per monitorare le popolazioni sorgente nel loro territorio.

Soggetti sfuggenti

Determinare quante tigri esistano, e dove, è un'impresa formidabile, perché sono poche, amano la segretezza, si spostano in continuazione e sono distribuite su un'aera geografica enorme. Per decenni queste caratteristiche hanno reso inutili tutti i tentativi di censire le tigri contandone le tracce fatti a partire dagli anni sessanta in India, Nepal, Bangladesh e Russia. Gli scienziati ipotizzavano che, come le impronte digitali, anche le impronte delle zampe dovessero essere uniche. Quindi si potevano contare le tigri contando le loro impronte. In realtà questi metodi sono fallimentari, perché risulta difficile differenziare le impronte le une dalle altre, e non tutte si riescono a rilevare. In India, masse di dati non affidabili generate con questo metodo difettoso hanno dato l'impressione che il numero delle tigri fosse in aumento, e ha alimentato una certa compiacenza verso le politiche di conservazione anche quando la situazione stava peggiorando. Ma mentre i funzionari erano occupati a contare le orme il progresso scientifico avanzava rapidamente nei campi dell'ecologia, della fotografia, della programmazione e della statistica, offrendo nuovi metodi per contare le tigri in modo più accurato.

Negli anni ottanta, da dottorando all'Università della Florida, mi ero impegnato ad apprendere questi metodi. Ero deciso a en-

L'autore prepara una trappola fotografica in una foresta dell'India per ottenere immagini degli animali che passano (*1*). Le tigri rimangono incuriosite o spaventate dal primo flash, il che influenza la probabilità di fotografarle successivamente (*2*).

Cortesia Kalyan Varma (*a sinistra*); cortesia K. Ullas Karanth e Wildlife Conservation Society (*a destra*)

trare nel segreto mondo delle tigri, così da conoscere il loro comportamento e capire meglio come se la stessero cavando nella foresta, in particolare al Parco nazionale Nagarahole, una delle riserve naturali nel Malenadu, dove le tigri stavano tornando grazie alle politiche conservazioniste di Indira Gandhi. Nel 1990 ho avuto un'opportunità, lavorando alla Wildlife Conservation Society per effettuare il primo studio radiotelemetrico delle tigri in India. Tenendo sotto stretto controllo alcuni esemplari, avremmo ottenuto informazioni sul comportamento delle tigri e quindi avremmo indirizzato meglio i nostri sforzi per contarle e proteggerle.

Ricordo la mattina fresca e brillante del 29 gennaio, quando ero seduto su un albero *Randia* a 5 metri dal suolo con un fucile narcotizzante, aspettando una tigre di 220 chilogrammi che altri membri della mia squadra indirizzavano verso me. La tigre avanzava lentamente, il suo corpo muscoloso era un'immagine di forza e di grazia. Quando le sue spalle e poi il suo fianco sono entrati nel campo visivo del mirino, ho premuto il grilletto. Il proiettile è volato nell'aria e ha colpito la coscia, suscitando un mite ruggito. Poco dopo abbiamo trovato la tigre sedata sotto un albero e le abbiamo messo un radiocollare con un trasmettitore grande come un pugno che avrebbe emesso segnali grazie ai quali l'avremmo localizzata con un ricevitore. Un paio d'ore più tardi la tigre, che abbiamo chiamato T-04, si è allontanata e ha raggiunto altre tre tigri, catturate in precedenza nella riserva di 645 chilometri quadrati, a cui già avevamo messo un collare simile.

Nei sei anni successivi la radiotelemetria ci rivelato le sfumature del comportamento delle tigri, permettendomi di passare meno tempo a cercarle alla cieca e più tempo a osservarle. Ancora più importante, questa tecnica ci dato informazioni sui luoghi in cui si aggiravano. Le tigri residenti a Nagarahole occupavano aree di circa 18 chilometri quadrati per una femmina adulta e di 50 chilometri quadrati per un maschio. Le tigri sono animali territoriali, quindi gli adulti stanno alla larga gli uni dagli altri, se non per accoppiarsi. La dimensione contenuta dei loro territori suggeriva che la densità della popolazione in parchi naturali come Nagarahole fosse più elevata di quanto si pensasse.

La telemetria ci ha mostrato anche dettagli mai visti prima sulle abitudini alimentari delle tigri del Malenadu, conducendoci alle carcasse maleodoranti delle prede che avevano ucciso. Insieme alle deiezioni raccolte, ancora più maleodoranti, questi dati hanno rivelato che le tigri tipicamente uccidono una grossa preda alla settimana, e ne consumano due terzi in un periodo di tre o quattro giorni prima di spostarsi. Alla fine, lo studio della loro dieta ci ha permesso di capire che lo sterminio delle prede da parte dei cacciatori umani era un fattore decisivo nel declino storico del numero di tigri, e suggeriva soluzioni per rimediare.

Nel 1993 ho anche scoperto come stimare in una certa area il numero di esemplari delle specie che sono le prede principali: cervi, cinghiali e bovini. Ho iniziato con un metodo di campionamento sviluppato da biologi statunitensi, che coinvolge due persone, i rilevatori, i quali camminano lungo transetti, cioè sentieri stretti in linea retta, lunghi 3 chilometri, che avevo tracciato nella foresta. I due contano tutti gli animali da preda avvistati lungo il loro cammino e misurano la distanza di ogni animale dal sentiero usando un telemetro laser. Dal numero degli animali avvistati, e dalle relative distanze, si può stimare il numero totale di animali da preda, tenendo anche conto di animali mancati durante la conta.

Guardando i miei risultati (i primi di questo tipo in Asia), sono rimasto sconcertato dall'abbondanza di prede nelle riserve protette del Malenadu. Queste foreste ospitavano un numero di ungulati da 16 a 68 per chilometro quadrato (gli ungulati sono mammiferi che comprendono cervi, maiali e bovini), una densità maggiore di quella della più ricca savana dell'Africa orientale. Erano ottime notizie per le tigri: le riserve indiane, sebbene più piccole dei parchi nord-americani o africani, potevano sostenere molti grandi felini. Da queste stime sulla disponibilità di prede, i biologi potevano valutare quante tigri ogni foresta asiatica avrebbe potuto teoricamente sostenere.

Verso la metà degli anni novanta però le riserve naturali indiane erano diventate sempre più bersaglio del bracconaggio, praticato da organizzazioni criminali che rispondevano alla domanda crescente di parti del corpo di tigre proveniente dai nuovi consu-

matori ricchi cinesi. I conservazionisti dovevano stimarne l'impatto con un conteggio accurato delle tigri in certe popolazioni chiave. Quante tigri erano rimaste? Quante se ne perdevano ogni anno? Il loro numero oscillava naturalmente? La loro densità variava da regione a regione?

In primo piano

Per rispondere a queste domande speravo di identificare e contare le tigri con un metodo nuovo a quel tempo, usando fotografie scattate automaticamente da trappole sistemate lungo i sentieri. Le trappole erano fatte scattare elettronicamente dalle tigri (e altri animali) al loro passaggio. Ogni tigre era identificata dallo schema unico delle strisce sui fianchi. Le trappole fotografiche permettevano di spiare molte più tigri della radiotelemetria; però mi ero reso conto che le trappole avrebbero immortalato solo un sottoinsieme delle tigri nelle popolazioni che studiavo. Per ovviare a questa mancanza, chiamata «rilevamento imperfetto», dovevo riuscire a stimare la dimensione dell'intera popolazione estrapolandola dal numero di animali che riuscivo a fotografare.

La mia ricerca di un metodo statistico appropriato per questo studio mi ha portato a Jim D. Nichols, allo U.S. Geological Survey's Patuxent Wildlife Research Center, nel Maryland. Nichols è un esperto dei modelli noti come cattura-ricattura, basato su un certo numero di esemplari identificabili catturati più volte, per fare i necessari aggiustamenti ed eliminare il problema del rilevamento imperfetto. Immaginiamo un barattolo pieno di biglie della stessa dimensione. Ne prendiamo una manciata, le coloriamo, le rimettiamo nel barattolo. Poi ne prendiamo un'altra manciata, a caso; alcune sono colorate, altre no. Dalla frequenza con cui si catturano di nuovo esemplari già identificati, il modello fornisce una stima della probabilità media di rilevare ogni esemplare, e quindi la dimensione della popolazione.

Paesi come Cambogia, Vietnam e Cina hanno perso le rispettive popolazioni minime vitali di tigri

I peculiari problemi posti dalla biologia delle tigri e dalla logistica sul campo mi hanno obbligato a calibrare attentamente il metodo. Le biglie hanno tutte la stessa probabilità di essere pescate, per le tigri invece non è così. Ogni tigre vive nel suo territorio e ha i suoi sentieri preferiti, quindi le trappole poste in aree diverse hanno probabilità differenti di catturare ogni singola tigre. Gli spostamenti variano a seconda delle stagioni, dell'età degli animali e del loro genere, influendo sulla probabilità di «cattura». A volte il flash spaventa le tigri, che dunque in seguito evitano accuratamente la trappola fotografica. E, al contrario delle biglie in un barattolo, le popolazioni di tigri sperimentano nascite, morti e spostamenti di esemplari all'interno di una zona o al di fuori di essa. Ho dovuto fare campionamenti ripetuti della popolazione, ma tutti nell'arco di 30 massimo 45 giorni per assicurarmi che il numero delle tigri sotto esame non variasse troppo. Sfortunatamente, molti costosi censimenti delle tigri ignorano queste precauzioni e producono numeri gonfiati.

I miei studi basati sulle trappole fotografiche hanno mostrato che la densità della popolazione varia da 0,5 a 15 tigri per 100 chilometri quadrati. Perché, mi sono chiesto, variano così tanto attraverso gli habitat? Nel 1967 il biologo George Schaller dedusse dalle sue osservazioni nel Kanha National Park, in India, che una tigre uccide circa il 10 per cento delle prede disponibili nel suo territorio. Se, come mostravano i miei studi telemetrici, una tigre uccide circa 50 animali l'anno, allora ci vogliono 500 ungulati nel suo territorio affinché il predatore abbia abbastanza da mangiare. Ho ipotizzato quindi che la densità potesse spiegare la grande variazione nella densità di tigri.

Per verificare questa ipotesi, tra il 1994 e il 2003 mi sono avventurato fuori dal Malenadu per stimare la densità di prede e di tigri in riserve in tutta l'India, con diversi habitat naturali, dalle paludi di mangrovie alle foreste di sempreverdi. I miei risultati pubblicati nel 2004 hanno confermato la proporzione prevista: una tigre ogni 500 prede. Hanno anche sostenuto la mia impressione che fosse la caccia indiscriminata delle prede da parte dei cacciatori locali, non il bracconaggio delle tigri per il mercato internazionale, la ragione principale del collasso storico della diffusione della tigre negli ultimi due secoli. Determinare la causa principale del declino è stato fondamentale, perché ha suggerito che la chiave per combatterlo è impedire ai locali la caccia delle prede preferite delle tigri grazie a un pattugliamento efficiente delle zone interessate, piuttosto che la cattura di commercianti di parti di tigre in zone lontane del mondo.

A partire da questi dati sulla densità, ho esteso il monitoraggio annuale delle popolazioni da Nagarahole ad altre importanti riserve naturali nel Malenadu nel 2004. Ripetendo il censimento ogni anno con le trappole fotografiche si riesce a valutare l'incremento o la diminuzione della popolazione, e anche il numero di esemplari persi (morti o emigrati) e guadagnati (nati o immigrati). Questi dati completi in tempo reale sui cambiamenti della popolazione di tigri offrono l'unico mezzo per valutare seriamente successo o fallimento di politiche di conservazione delle tigri.

Il confronto manuale di ogni nuova foto con migliaia di foto precedenti per identificare gli esemplari era un lavoro noioso e poco efficiente. Ma un programma di identificazione dello schema delle strisce sui fianchi chiamato ExtractCompare, sviluppato dal matematico Lex Hilby, di Conservation Research, nel Regno Unito, mi ha permesso di automatizzare e velocizzare il processo a partire dal 2000. Questo programma non identifica solo le tigri vive, ma anche le pelli recuperate ai bracconieri, aiutando a ottenere condanne penali.

Venticinque anni di trappole fotografiche nel Malenadu hanno fornito la banca dati sistematica più grande del mondo di tigri selvatiche, con 8843 immagini di 888 esemplari. Ogni stagione trovo circa 250 tigri concentrate in riserve che, tutte insieme, coprono circa 4000 chilometri quadrati. Alcuni esemplari appaiono nel censimento tutti gli anni, mentre la gran parte è rilevata solo una o due volte, indicando alte percentuali di rotazione nella popolazione. Il gruppo di 400-450 tigri nel Malenadu è forse il più grande del mondo, ora. Le mie osservazioni suggeriscono che qui ci sono cinque volte tante tigri rispetto a cinquant'anni fa: un tributo agli sforzi del governo locale e dei conservazionisti.

I risultati di questi studi di lungo termine mostrano per la prima volta come funziona una florida popolazione di tigri in natura. Gruppi protetti in maniera corretta, come quello a Nagarahole, non sono statici. La loro densità oscilla naturalmente da un minimo di sette a un massimo di 15 tigri per 100 chilometri quadrati, su un lungo periodo di tempo. Anche una popolazione a così alta densità perde in media il 20 per cento di esemplari ogni anno. L'uccisione dei piccoli da parte dei maschi, le ferite sostenute durante la caccia o le lotte interne, seguite poi dalla morte per fame, provano fortemente la popolazione.

Le uccisioni da parte degli allevatori a difesa delle loro mandrie e dei bracconieri che riforniscono il mercato nero (attività in atto anche nelle riserve naturali) contribuiscono ulteriormente alla mortalità. Ma, essendo le prede abbondanti nelle riserve, il numero di nuovi nati compensa ampiamente le perdite. Gli animali in eccesso cercano di disperdersi e colonizzare nuove aree. Queste scoperte mostrano che invece di preoccuparsi della morte di singole tigri, come spesso fanno i conservazionisti, sarebbe meglio concentrarsi sulla popolazione. Anziché usare le nostre risorse per eliminare tutti i pericoli che le tigri devono affrontare, dovremmo concentrare i nostri sforzi a sostegno delle popolazioni sorgente, quelle che hanno più probabilità di recuperare ed espandersi.

Uno sguardo sul territorio

Tra gli anni novanta e i primi anni di questo secolo, la mia ricerca ha riguardato principalmente la dinamica che governa le popolazioni sorgente e l'impatto della vicinanza umana. Questi gruppi di animali, relativamente al sicuro, sono pur sempre inseriti in un ambiente naturale più vasto e generalmente ostile. Che cosa succede alle tigri che non vivono nelle riserve, come le popolazioni sorgente, ma nelle aree circostanti, che assorbono l'eccesso di esemplari generati dalla popolazione sorgente stessa?

Le mie trappole fotografiche nel Malenadu hanno rivelato la dispersione su largo raggio di nuovi adulti: il maschio BDT-130 è migrato per più di 180 chilometri da Bhadra fino a Anshi-Dandeli nel 2008; un altro maschio, BPT-241, si è spostato di più di 280 chilometri da Bandipur alle foreste nel distretto di Shimoga nel 2011. Molte altre tigri si sono spostate tra riserve adiacenti. Questi dati suggeriscono che le zone circostanti una riserva permettono ad animali provenienti da diverse popolazioni sorgente di accoppiarsi, il che aiuta a mantenere un buon livello di diversità genetica. Quindi un importante aspetto della protezione delle popolazioni sorgente è il mantenimento del collegamento tra i diversi habitat, per mezzo di zone di passaggio tra una riserva e l'altra, che permettano alle tigri di disperdersi.

Il numero totale di tigri in libertà, anche se si potesse determinare con precisione, forse non è così importante

Per avere un quadro più completo su quali zone siano abitate dalle tigri, ho esteso il mio studio oltre i 4000 chilometri quadrati. Ma su aree così grandi non era pratico e nemmeno economico usare le trappole fotografiche che avevano dato risultati tanti buoni in zone più piccole. Per censimenti su larga scala devono essere usate tecniche basate su segnali meno diretti e più facili da incontrare rispetti agli animali stessi, cioè orme e feci, dati che stabiliscono dove ci sono tigri, ma non quante sono.

Nel 2006 ho censito il territorio del Malenadu: 38.350 chilometri quadrati. I risultati hanno mostrato che le tigri abitavano 14.076 chilometri quadrati, cioè il 66 per cento dei 21.167 chilometri quadrati di habitat adatto a loro, suggerendo che la popolazione ha tutto lo spazio che vuole per espandersi. Inoltre lo studio ha mostrato che le aree con maggiore densità di tigri avevano anche la più alta densità di prede e livelli limitati di attività umana, a sostegno dell'idea che la chiave per salvare le tigri è assicurare che non siano in concorrenza con i cacciatori umani per le prede.

In una collaborazione ancora in corso tra Wildlife Conservation Society e Indian Statistical Institute, con i miei colleghi studiamo come integrare l'abbondanza di tigri misurata nelle riserve usando metodi intensivi e costosi, come le trappole fotografiche, con i risultati di ricerche estese e più economiche, basate sulle orme e sulle feci, per darci stime più accurate del numero di tigri su regioni ancora più vaste e in altri paesi. Speriamo che il progetto dia nuove indicazioni su come aumentare le possibilità di sopravvivenza delle tigri su tutto il loro potenziale territorio.

Congetture pericolose

I modelli di cattura-ricattura e di occupazione su larga scala sono oggi usati per stimare numero di tigri e vastità del loro territorio in molti paesi asiatici. Anche gli scienziati che studiano altri carnivori difficili da avvistare ma con marcatori corporei unici, come licaoni e ghiottoni, usano questi metodi. Eppure, sebbene i metodi di studio delle popolazioni di tigri abbiano fatto progressi, non sono stati adottati globalmente dalle agenzie di protezione ambientale, governative e non, per abitudine e scarsa conoscenza, e perché i vecchi metodi danno risultati più lusinghieri.

Un esempio illustra quanto sia pericoloso fidarsi di strumenti obsoleti. In aprile il WWF e il Global Tiger Forum hanno annunciato che il numero di tigri selvatiche è in forte aumento in tutto il mondo, contando 3890 esemplari. Questi gruppi puntano a incrementare il numero di tigri a 6000 nel 2022. Ma il loro conteggio si basa su metodi fallaci, incluso l'uso di estrapolazioni statisticamente deboli da foto e conteggio di orme e deiezioni. E il loro obiettivo per la crescita della popolazione è molto più ambizioso di quanto sia lecito attendersi da studi basati sulle tecniche descritte qui. Inoltre, a parte l'incremento in alcune riserve naturali in India e in alcune aree della Thailandia, non ci sono dati convincenti per cui il numero di tigri sia in aumento nel resto del Sudest asiatico o in Russia. In realtà paesi come Cambogia, Vietnam e Cina hanno perso le rispettive popolazioni minime vitali, perdite mascherate da ogni singolo numero globale di tigre.

Numeri congetturali di tigri minano gli sforzi per salvarle, perché distraggono conservazionisti e pubblico da quella che dovrebbe essere la priorità: preservare le popolazioni sorgente e farle crescere. In un certo senso, il numero totale di tigri in libertà, sempre che si possa determinare con precisione, forse non è così importante. Sono le popolazioni sorgente a dover essere monitorate, usando i migliori metodi a disposizione per valutarne la dimensione. Solo con un conteggio affidabile possiamo porci obiettivi realistici per la crescita futura, sviluppare strategie adeguate per questi obiettivi e misurare l'impatto dei nostri sforzi di conservazione.

La storia ci mostra che il progresso scientifico può rallentare e fermarsi per mancanza di conoscenza, inerzia istituzionale, considerazioni politiche. Ma nel momento in cui il mondo affronta la sesta estinzione di massa non possiamo permetterci di separare le pratiche conservazioniste dalla solida scienza, se vogliamo avere anche solo una speranza di salvare un'icona del mondo animale, la maestosa tigre. ■

PER APPROFONDIRE

Tigers and Their Prey: Predicting Carnivore Densities from Prey Abundance. Karanth K.U. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 101, n. 14, pp. 4854-4858, 6 aprile 2004.

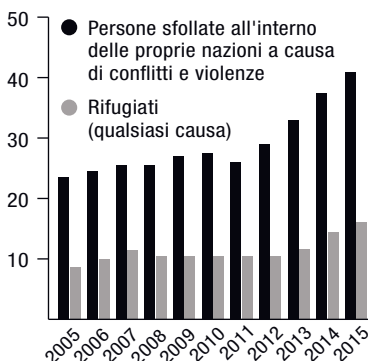
An Examination of Index-Calibration Experiments: Counting Tigers at Macroecological Scales. Gopalaswamy A.M. e altri, in «Methods in Ecology and Evolution», Vol. 6, n. 9, pp. 1055-1066, settembre 2015.

Sulle rotte dell'avorio. Wasser S.K., Clark B. e Laurie C., in «Le Scienze» n. 493, settembre 2009.

Migranti in casa

Violenze e disastri forzano sempre più persone a fuggire rimanendo in patria

Ogni anno milioni di rifugiati abbandonano le loro terre native. Ma il numero di sfollati interni, cioè persone che lasciano le loro case ma rimangono all'interno del loro paese, è addirittura più grande e sta crescendo velocemente (A). Solo nel 2015, 28 milioni di persone sono state costrette a questi spostamenti (B). Ironicamente, molti paesi proteggono e assistono rifugiati che arrivano sul loro territorio attraversando confini tra nazioni, ma non aiutano persone che migrano internamente a causa di violenze, disastri naturali o crisi che evolvono, come le siccità. I migranti possono vivere in condizioni terribili per anni. Sottolineando questo andamento inquietante, le agenzie internazionali sperano che l'aiuto a queste persone migliori.

Mark Fischetti

B Persone sfollate all'interno delle proprie nazioni 2015

- A causa di conflitti
- A causa di disastri
  - Terremoti, vulcani
  - Eventi meteo

Conflitti 8,8 milioni

Disastri 19,2 milioni

Nel 2015 in India 3,656 milioni di persone sono state costrette ad abbandonare le proprie case, più che in ogni altra nazione. Questa migrazione è stata causata soprattutto da due eventi: inondazioni colossali a novembre e un ciclone accompagnato da inondazioni a luglio.

Negli Stati Uniti 63.000 persone si sono dovute spostare all'interno del paese, la maggior parte a causa di inondazioni.

I dieci eventi più grandi — Totale per paese o regione

Totale	Paese o regione
406.000	Afghanistan
19.000	Algeria
36.000	Argentina
531.000	Bangladesh
11.000	Bolivia
59.000	Brasile
26.100	Burundi
82.000	Camerun
13.000	Canada
211.100	Rep. Centrafricana
36.000	Ciad
1.047.000	Cile
3.602.000	Cina
228.600	Colombia
727.000	Rep. Dem. Congo
28.000	Rep. Dominicana
78.100	Egitto
160.000	Etiopia
34.000	Guinea
3.656.000	India
204.200	Indonesia
1.137.000	Iraq
486.000	Giappone
19.000	Kazakhstan
105.000	Kenya
12.000	Laos
100.000	Libia
87.000	Madagascar
343.000	Malawi
21.000	Malaysia
97.000	Messico
61.000	Mozambico
1.634.000	Myanmar
2.623.000	Nepal
85.000	Niger
837.000	Nigeria
1.002.000	Pakistan
171.000	Paraguay
2.509.000	Filippine
149.000	Somalia
214.000	Sud Sudan
66.000	Sri Lanka
152.300	Sudan
1.300.000	Siria
27.000	Taiwan
11.000	Tagikistan
942.000	Ucraina
63.000	Stati Uniti
24.000	Uruguay
65.000	Vanuatu
45.000	Venezuela
10.700	Cisgiordania (West Bank)
2.258.000	Yemen
	Altri paesi

Grafica Tiffany Farrant-Gonzalez; fonti: U.N. High Commissioner for Refugees (*dati rifugiati totali*); *Global Report on Internal Displacement*, di Alexandra Bilak e altri, Internal Displacement Monitoring Center, maggio 2016 (*dati sfollati interni*)

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso
della disinformazione nei media

Astronauti cardiopatici?

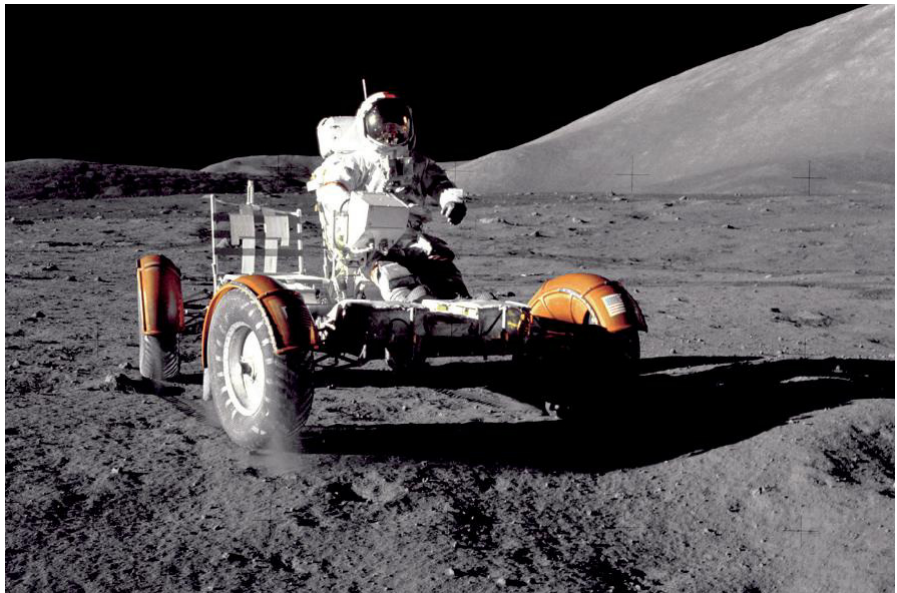
Come è nata la bufala dei rischi elevati di cardiopatie per chi è andato sulla Luna

Il 43 per cento degli astronauti che hanno partecipato alle missioni sulla Luna è morto per problemi cardiovascolari: una percentuale cinque volte superiore a quella degli astronauti che non hanno mai volato e quattro volte superiore a quella dei viaggiatori nello spazio rimasti vicini alla Terra. Una ricerca della Florida State University pubblicata recentemente sulla rivista «Scientific Reports» (doi:10.1038/srep29901) presenta questi dati e mette un'ipoteca molto pesante su qualunque ambizione di viaggi interplanetari con equipaggi. Qualcosa, forse le radiazioni cosmiche dello spazio profondo, devasta il cuore e il sistema vascolare degli astronauti quando si avventurano lontano dalla protezione del campo magnetico terrestre.

La notizia, comprensibilmente, ha fatto il giro del mondo ed è stata ripresa da molte testate generaliste. Dunque *The Martian* sarebbe destinato a restare per sempre fantascienza, o almeno così sembrerebbe, a giudicare dall'autorevolezza della rivista che ha pubblicato la ricerca e delle istituzioni per le quali lavorano i suoi autori: non solo Florida State University, ma anche NASA e Università della California a Irvine.

Tuttavia andando alla fonte originale, come bisogna sempre fare in questi casi, emerge che «Scientific Reports» adotta il sistema open access, nel quale sono gli autori delle ricerche a pagare le spese di revisione, amministrazione e pubblicazione (quasi 1200 euro nel caso di «Scientific Reports») e la rivista offre loro in cambio visibilità pubblicando l'articolo integralmente su Internet.

È un sistema controverso, che spesso porta a criteri di selezione decisamente blandi. Infatti, la ricerca su «Scientific Reports» ha rivelato subito carenze: per esempio, non propone una definizione precisa di malattie cardiovascolari, non ha reperito la causa di morte di più della metà degli astronauti selezionati ma mai andati nello spazio e si basa su un campione minuscolo (solo 24 astronauti, tutti uomini, hanno volato verso la Luna) e altamente disomogeneo (alcuni hanno partecipato a una sola missione lunare, altri a due; alcuni sono usciti all'esterno, sulla superficie della Luna, altri no; alcuni vi sono rimasti poche ore e altri fino a tre giorni). Confrontare questo campione tutto maschile degli anni sessanta con gli astronauti degli anni successivi (il 20 per cento dei quali sono donne, che hanno un rischio minore di malattie circolatorie), e tralasciando per esempio l'impatto positivo della riduzione del consumo di sigarette dagli anni settanta in poi, non ha molto senso.

Un articolo pubblicato sulla rivista «Life Sciences in Space Research», che è invece accessibile solo a pagamento (doi:10.1016/j.lssr.2016.08.002), sottolinea queste e altre falle metodologiche della ricerca e presenta fra gli altri un dato che stronca l'idea delle radiazioni come causa del presunto fenomeno: l'esposizione media alle radiazioni cosmiche di un astronauta che resta per sei mesi sulla Stazione spaziale internazionale è più di cinque volte maggiore di quella di una breve missione lunare Apollo (circa 80 millisievert contro circa 15).

Guida extraterrestre. L'astronauta Eugene A. Cernan, comandante della missione Apollo 17 sbarcata sul nostro satellite naturale nel 1972, alla guida di un rover lunare.

Cortesia NASA

La ricerca diffusa dai media è insomma una bufala, che attecchisce perché tocca drammaticamente un argomento molto popolare come i viaggi interplanetari.

Ma per gli autori e per l'editore va benissimo così, perché ha creato visibilità per entrambi. La perdita di credibilità non è un problema: tanto, come al solito, quelli che leggeranno la smentita saranno pochi rispetto ai tanti che avranno letto soltanto il titolo di giornale e ricorderanno che non bisogna andare su Marte perché fa male al cuore. Ed è così che nasce una falsa credenza scientifica.

di Beatrice Mautino
Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

Che fine fanno i grassi delle creme?

I lipidi contenuti nelle creme idratanti non contribuiscono all'aumento di peso

"La base della maggior parte delle creme che ci spalmiamo è costituita da sostanze grasse. Di solito l'indicazione è di spalmare massaggiando fino all'assorbimento. Mi chiedo (e le chiedo), che fine fanno queste sostanze grasse? Finiscono in circolo? Quindi assorbiamo grassi saturi e produciamo colesterolo come conseguenza? E se finiscono in circolo, vengono metabolizzate come i grassi della dieta? Razionalmente, in un modo o nell'altro, mi sembrerebbe che da qualche parte debbano andare. Lei che cosa ne pensa?»

Questa non è una rubrica di lettere e risposte, ma questa richiesta inviatami da un lettore qualche settimana fa mi ha incuriosita. Probabilmente perché mentre la leggevo ero a dieta. All'inizio dell'estate ho distrutto i miei pantaloni preferiti. Mi stavo piegando per togliere una teglia dal forno e, *strap*, uno squarcio di una decina di centimetri sul fondoschiena. Vederli in quello stato mi ha costretta a fare un esame di coscienza. Diciamo che mi sarebbe piaciuto poter attribuire lo strappo e i miei chili di troppo alle creme idratanti e sarebbe anche stato comodo. Per un attimo mi sono detta che per poter di nuovo fare un aperitivo come si deve ero disposta a tenermi la pelle secca, ma poi la razionalità ha ripreso il sopravvento.

A scuola ci hanno insegnato che la pelle è l'organo più grande del nostro corpo. Una barriera di un paio di metri quadrati che permette di proteggerci da sostanze tossiche e agenti atmosferici e che ha una funzione indispensabile per la nostra vita: impedire il più possibile l'evaporazione dell'acqua. Come? Principalmente attraverso lo strato più esterno dell'epidermide che prende il nome di strato corneo.

Visto al microscopio, lo strato corneo ricorda un po' un muro o, per rimanere a tema dieta, quel dolce tipico delle nonne che ha diversi nomi a seconda delle aree geografiche (la mia lo chiamava «mattone»), caratterizzato dall'alternarsi di uno strato di biscotti imbevuti nel caffè (le nostre cellule) e uno strato di crema a base di burro che «cementa» il tutto. Il paragone non è troppo azzardato, perché nello strato corneo, a riempire gli spazi tra una cellula e l'altra sono proprio grassi che hanno il compito, tra le altre cose, di formare una patina oleosa che funge da isolante e rallenta l'evaporazione dell'acqua mantenendo l'umidità della pelle attorno al 20-30 per cento. Se questo valore si abbassa, per esempio per la riduzione della componente grassa come avviene con l'avanzare dell'età, la pelle si secca.

Le creme idratanti agiscono quindi per risolvere questo problema e lo fanno in due modi. Da un lato richiamano acqua dagli strati più interni dell'epidermide attraverso le sostanze umettanti come il glicerolo, spesso indicato sulle confezioni delle creme come glicerina, dall'altro aiutano lo strato corneo a trattenere l'acqua presente, quindi di fatto lo isolano dall'esterno. Questa funzione in particolare spetta alla componente grassa e oleosa delle creme, come, per esempio, il burro di cacao. Tutte le creme idratanti sono costituite da miscele di queste due componenti, alcune prediligono la funzione isolante, altre quella umettante, ma le basi sono sempre le stesse.

Un aiuto per l'acqua. La componente grassa e oleosa delle creme aiuta lo strato più esterno dell'epidermide, lo strato corneo, a trattenere l'acqua degli strati più interni.

Westend61/Getty Images

Che fine fanno le sostanze grasse? Gli studi dimostrano che i lipidi presenti nelle creme idratanti possono essere incorporati nelle riserve di grassi dello strato corneo, soprattutto se la loro composizione mima quella naturalmente presente nella pelle. Ed è vero che alcuni di questi possono penetrare negli strati più profondi, ma è anche vero che man mano che ci si addentra nell'epidermide, l'ambiente diventa sempre più acquoso e, di conseguenza, inospitale per i lipidi. Quindi, in sostanza, si tratta di quantità irrilevanti che non ci permettono di incolpare le creme idratanti per il colesterolo alto o la pancetta di troppo.

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie*, *OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello.*

La scoperta di una nuova bistecca

Battezzata *flat iron steak*, viene dal muscolo infraspinato, nel quarto anteriore

Il famoso gastronomo francese Anthelme Brillat-Savarin, autore di *La fisiologia del gusto*, diceva che «la scoperta di un nuovo piatto è più preziosa per il genere umano della scoperta di una nuova stella». Sebbene non condivida il confronto con le scoperte astronomiche, è vero che ogni nuovo modo di preparare il cibo ci arricchisce dal punto di vista culturale. Ricette nuove vengono create ogni giorno, ma è molto più raro che venga inventato, o forse sarebbe meglio dire scoperto, un nuovo taglio di carne da bistecca.

Poiché il consumatore è alla continua ricerca di tagli di carne teneri, vari ricercatori negli ultimi anni si sono messi al lavoro per valutare la tenerezza dei singoli muscoli in modo obiettivo, considerando anche quelli che normalmente non sono separati dal macellaio. Sono stati sviluppati test con cui valutare le caratteristiche meccaniche di un pezzo di carne, da affiancare al giudizio di un gruppo di assaggiatori esperti. Uno studio dell'Università del Nebraska e dell'Università della Florida ha raccolto e catalogato decine di ricerche pubblicate nella letteratura scientifica riuscendo a classificare in ordine di tenerezza una quarantina di muscoli. Sul podio della tenerezza, come era prevedibile, sale il muscolo psoas maggiore, il filetto, ma anche altri muscoli già molto apprezzati per tenerezza e sapore, come il lunghissimo del torace e il lunghissimo del dorso, muscoli usati per produrre costate, *entrecôte* e *roastbeef*.

La classifica, però, riserva alcune sorprese. Sia secondo le prove automatiche con apparecchiature apposite sia in fase di assaggio, il muscolo infraspinato risulta uno dei più teneri del bovino. È addirittura il secondo più tenero dopo il filetto. La cosa sorprendente è che questo è un muscolo della spalla, nel quarto anteriore: una zona nota per tagli saporiti ma non esattamente teneri, e infatti è sempre stato venduto come taglio da lunghe cotture in umido, oppure macinato. Questo particolare muscolo, però, non è granché sottoposto a sforzi durante la vita dell'animale e risulta tenero, saporito e succulento: perfetto per preparare una bistecca da cuocere in padella o alla griglia.

Questa nuova bistecca, chiamata negli Stati Uniti *flat iron steak*, è stata lanciata agli inizi del 2000 in varie catene di ristoranti e ora ha un buon successo commerciale, dato che costa la metà di un filetto. Da noi in Italia la flat iron steak non è ancora diffusa: l'infraspinato è venduto nel cappello del prete o copertina o sorra. L'avrete visto sicuramente sui banconi della macelleria, perché è contraddistinto da una linea di tessuto connettivo proprio a metà del muscolo. Per questo motivo è sempre stato un classico pezzo da brasare o stufare. Ma se tagliate longitudinalmente il muscolo, come hanno fatto i ricercatori, per eliminare la fascia centrale di tessuto connettivo, otterrete due succulente bistecche.

Potete chiedere al vostro macellaio di eseguire il taglio eliminando tutto il tessuto connettivo, oppure potete provarci voi: *on line* potrete trovare video *tutorial* che spiegano esattamente come fare. Dopo averla separata salatela, aspettate un'oretta, asciugatela e poi mettete la bistecca in padella. Io l'ho fatto ed effettivamente è un taglio tenero e gustoso, con una consistenza e un sapore un po' diversi da quelli dei tagli più noti da bistecca.

Nella classifica, un muscolo della scapola, il sottoscapolare, risulta anch'esso molto tenero. A differenza del caso precedente, però, non è facile da isolare, e quindi da cucinare separatamente dal resto. Forse per questo nessuno si era mai accorto delle sue qualità e a nessun macellaio è mai venuto in mente di separarlo. Possiamo solo ringraziare questi scienziati che si occupano di carne e augurar loro buona fortuna in quella che sembra una sorta di caccia al tesoro: scovare tra le molte centinaia di muscoli di un animale quelli più adatti a determinate ricette.

Made in USA. Lanciata agli inizi del 2000, negli Stati Uniti la *flat iron steak* ha avuto un buon successo commerciale, anche perché costa la metà di un filetto.

Steven Morris Photography/Getty Images

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Mostruosità quadratiche medie

Qualsiasi gatto, di qualsiasi colore, purché di età inferiore ai due anni, assalterebbe e ucciderebbe spietatamente qualsiasi entità – vivente o meno – che si permettesse di rotolare davanti alle sue vibrisse. Per fortuna, Gaetanagnesi ha da tempo superato l'età giovanile, e soprattutto è ammantata da una dignità aristocratica superiore che le fa disdegnare le normali attività ludico-venatorie dei suoi simili. È per questa ragione che gli oggettini rossi e blu possono rimbalzare allegramente sul tappeto senza che lei si lanci a sbranarli o frantumarli.

Nonostante il comportamento felino sia rassicurante, il resto dell'ambientazione è semplicemente fuori dal mondo. Almeno agli occhi di Piotr.

«Fredric Brown, in un racconto, sostiene che si comincia ad avere dei problemi con la realtà non quando si vedono mostri, bensì quando i mostri si prendono la briga di rispondere. Beh, la scena che mi si para davanti agli occhi mi pare perfettamente equivalente.»

«Beh, Doc, potrebbe anche essere, no?», ride Alice, praticamente sdraiata sul tappeto, e continuando a far rotolare oggettini rossi e blu: «E se cataloghiamo le *brioche* tra le sostanze psicotrope, di sicuro tu sei a un livello di conflitto con la realtà che neppure Brown è mai riuscito a descrivere.»

Eppure Piotr non ha tutti i torti: la scena ha del paradossale. Non tanto perché l'esimia dottoressa Riddle è in posa poco urbana sul tappeto; e neppure perché l'accademico D'Alembert ne segue i movimenti con sguardo attento, seduto a gambe incrociate sul tappeto medesimo, fianco a fianco con la compostissima e sussiegosa gatta nera; la cosa incredibile è che gli oggettini che Alice sta gioiosamente lanciando altro non sono che poliedrici e coloratissimi dadi da gioco. Dadi, ovvero il Sacro Graal della teoria delle probabilità, nelle mani e negli occhi dell'acerrima nemica di ogni forma di questa teoria. Di fronte a cotanto abominio, il fatto che il tappeto sopra menzionato si trovi nel bel mezzo di un elegante negozio del centro (specializzato in giochi da tavolo e da scacchiera), e che un'elegante commessa in tailleur osservi con occhi pieni di sdegno e di panico l'accampamento improvvisato nel suo luogo di lavoro, appare quasi normale.

Piotr cerca di segnalare ad Alice l'imbarazzo che gronda dal volto della commessa tramite una serie di occhiate significative; Alice recepisce i segnali, ma rifiuta di coglierne la preghiera: «Taci, Doc, che devo lanciare.»

Gli sguardi cambiano direzione, e piovono adesso da Piotr a Rudy: in risposta, ricevono solo un divertito, ma silenziosissimo sorriso.

Un attimo prima che Doc cada preda dell'isteria e che la commessa ceda alla tentazione di chiamare la sicurezza, Alice si ricompone, sfodera un sorriso ammaliante alla fanciulla in tailleur e le comunica con placidità: «Bene, prendo questi due set, i rossi e i blu: secondo il massimo esperto del settore sono ottimamente bilanciati, perfettamente equivalenti e privi di difetti.»

Palesemente sollevata dal risolversi dell'accampamento, la commessa accenna un sorriso e tenta perfino un po' di conversazione: «Oh, lei è un'esperta di dadi? O forse si riferisce al signore con la pipa spenta, che la osservava così attentamente?»

Illustrazione di Stefano Fabbri

«Né l'una né l'altro, no... mi riferivo alla gatta – sorride Alice – lei non può immaginare le doti di quella micia.»

Mentre la negoziante si avvia verso la cassa con un sorriso congelato sul volto, Piotr implora spiegazioni ai suoi due amici: le parole non sono necessarie, la sua espressione inebetita è più che sufficiente.

«Su, su, Doc, di che cosa ti stupisci? Sto solo comprando dei set di dadi per *Dungeons & Dragons*.»

«...sì, e come dice il nostro Capo, il mondo è quadrato e saltella. Te l'hanno mai detto, Treccia, che dove ci sono i dadi c'è la teoria della probabilità?»

«Uh, come sei monocorde e noioso! Il Capo mi ha assicurato che *Dungeons & Dragons* è un gioco divertente; tu dici sempre che il modo migliore per vincere al casinò è quello di fare la parte

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di novembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Due dadi normali a sei facce e un dado speciale con i segni di addizione e sottrazione sono i protagonisti di un gioco

IL PROBLEMA DI SETTEMBRE

Il mese scorso ci si chiedeva come potessero tre persone ragionevolmente versate in matematica venire a sapere se la propria età fosse maggiore o minore della media delle tre età senza rendere edotte le altre due persone sulla propria.

Il metodo più semplice che conosciamo si basa su un meccanismo che ricorda la crittografia. Dette A, B, e C le tre persone, A somma alla propria età un numero casuale (noto solo a lui) e comunica il risultato $E_A + X_A$ a B. B somma a questo valore la propria età e un numero casuale (noto solo a lui) e comunica il risultato $(E_A + X_A) + E_B + X_B$ a C. C esegue la stessa operazione con la propria età e un numero casuale (noto solo a lui) e comunica il risultato $[(E_A + X_A) + E_B + X_B] + E_C + X_C$ ad A. A sottrae dal risultato il proprio numero casuale e comunica il risultato a B, che sottrae dal valore il proprio numero casuale e comunica il risultato a C, che sottrae dal valore il proprio numero casuale e annuncia ad alta voce il risultato, che vale: $[(E_A + X_A) + E_B + X_B] + E_C + X_C - X_A - X_B - X_C = E_A + E_B + E_C$.

Ciascuno, dividendo per tre, può calcolare il valor medio e confrontarlo con la propria età, pur restando nell'ignoranza delle età altrui.

del banco; così ho proposto a Rudy di insegnarmi a fare il Dungeon Master. Messa in questi termini, posso sopportare l'idea di veder rotolare dadi multiformi sul pavimento di casa.»

«Quindi preparati a dovere – aggiunge Rudy – le prossime partite avranno un solo giocatore (tu) ma due Dungeon Master: uno ufficiale, Treccia, e uno di supporto, io.»

«Fantastico: già normalmente è tanto se riesco a ferire superficialmente un *troll* asmatico; con voi due coalizzati avrò il tempo di vita di un bosone di Higgs. Comunque, l'acquisto dei dadi non mi pare una cosa da richiedere tutte queste cerimonie. Anche se tanti e di forma strana, i dadi quelli sono e quelli restano, per fortuna.»

«Certo, Doc, che tu te le vai proprio a cercare... hai appena sancito una sorta di "principio di conservazione dei dadi", forse? Temo di doverti deludere, allora: in questo amabile negozio fanno anche dadi speciali a richiesta, e io sono qui soprattutto per ritirarne un paio ordinati da me.»

«Dadi speciali? Truccati? Dado di Möbius, a una sola faccia e un solo spigolo? Sarebbe perfettamente deterministico, potrebbe piacere ad Alice...»

«Spiritoso. Per fare un dado deterministico basta scrivere lo stesso valore su ogni faccia; meglio ancora, basta eliminare il dado del tutto. No, ho richiesto solo normali dadi a forma di esaedro regolare con i segni "più" e "meno" equiprobabilmente disegnati sulle facce.»

«Esaedro reg... ma non puoi dire semplicemente "cubici"? E non bastava lanciare una moneta?»

«Una moneta si lancia male, insieme ai dadi. Invece così posso lanciare uno dei miei nuovi dadi insieme ad altri due dadi, non necessariamente cubici ma dello stesso tipo: se il dado speciale dà "più", si sommano i valori dei due dadi, mentre se il dado dà "meno", si sottrae il minore dal maggiore.»

«Spero tu non voglia inserirli nella prossima partita di *Dungeons & Dragons*: faresti venire il mal di testa anche a un Chierico.»

«No, per la prossima partita ho altre idee. Ma prima o poi questi li inserirò, da qualche parte. Per adesso, come ogni vero matematico sa, devo trovare il loro "gioco equo".»

«Treccia che lancia i dadi, tu che parli di equità... Avete ragione, troppe brioche. Ora però sono serio, che cosa intendi dire con esattezza?»

«Diamine... pensa a due dadi normali a sei facce: un possibile "gioco equo" tra due giocatori è banalmente quello che vede un giocatore vincente se la somma dei dadi è pari o perdente se è dispari; delle 36 possibili combinazioni 18 sono pari e 18 dispari, quindi c'è equità. Supponi ora che si lancino tre dadi, due "normali" e un dado "più o meno", e che due giocatori vogliano fare una partita equa; come dovrebbe essere la distribuzione dei valori, per garantirlo? Ti consiglio di studiarlo prima sui dadi a sei facce; poi potresti estendere la cosa considerando dadi diversi e, oltre ai normali dadi da *Dungeons & Dragons*, anche dadi fisicamente impossibili. Ci sono dadi con un numero di facce per cui non si può creare un gioco equo, ipotizzando di dividere l'insieme dei valori possibili in due soli gruppi, uno favorevole a un giocatore e uno all'altro, senza lanci nulli?»

«Sai una cosa? La potenza psicotropa delle brioche non è più quella di una volta. Vado in pasticceria a rimediare, così forse sparite dalla mia vista.»

Un incontro tra scienza e letteratura

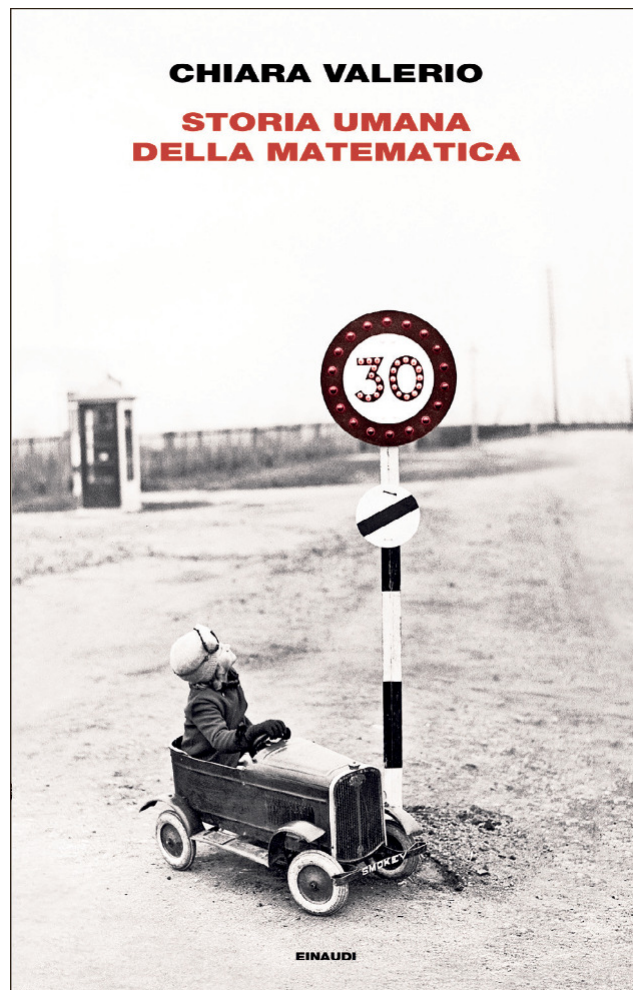
Storia umana della matematica
di Chiara Valerio
Einaudi, Torino, 2016, pp. 166 (euro 18,00)

Per molto tempo si è dovuto convivere con il vizio (prevalentemente italiano) delle due culture impermeabili, l'umanistica e la scientifica; negli ultimi anni, per fortuna, non sono mancate autorevoli esortazioni a ritenere l'impermeabilità suddetta assai controproducente, oltre che sciocca. Questa *Storia umana della matematica* di Chiara Valerio appare come un testo che sembra raccogliere l'invito a declinare direttamente, e senza soluzione di continuità, la scienza nell'ambito della letteratura.

Gli otto capitoli – numerati con vezzo matematico da zero a sette – cominciano dicendo che la matematica non esiste, e terminano affermando che la matematica «è la stessa cosa del tempo». Tra *incipit* ed *explicit* si trovano sei capitoli etichettati con nomi di grandi personaggi della matematica (Bolyai padre e figlio, Riemann, Laplace, Picone, Wiener), o della fisica (Lev Landau), mentre l'ultimo prende il nome dell'autrice stessa.

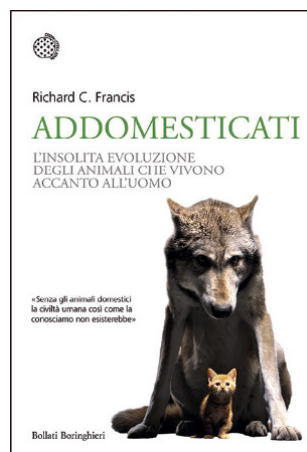
Riservarsi l'ultimo capitolo non è un immodesto tentativo di elevarsi al rango degli altri; è piuttosto l'esplicitazione definitiva della struttura e dell'intenzione che permea tutto il libro. Per quanto ricchi di aneddoti sulla vita dei protagonisti, i capitoli dedicati ai personaggi storici sono comunque ben lontani dal voler essere biografie; sono piuttosto il pretesto per estrarre da alcuni momenti cruciali di quelle vite i segni lasciati nella visione del mondo dell'autrice, oltre che nella storia della scienza. Così forse trova giustificazione l'aggettivo «umana» che qualifica questa breve storia della matematica; non è tale perché racconta la parte privata della vita dei grandi, ma perché è costantemente rapportata alla sola storia umana che un autore può realmente conoscere: la propria.

Così, la fatidica questione del postulato sulle parallele che percorre 20 secoli, da Euclide fino a Gauss, Farkas e János Bolyai e a Lobacevskij viene confrontata con la paura di viaggiare in treno, casomai le parallele dei binari decidessero di incontrarsi. Così, se è naturale passare dalle geometrie rivoluzionarie di Riemann a quelle narrativamente non meno straordinarie della *Flatlandia* di Abbott, è meno prevedibile interrogarsi da bambina sulle dimensioni, e ricondurre il tempo a quarta dimensione notando il cambiare dei capelli della mamma dopo uno shampoo; o passare dalla gratificazione delle luci dell'albero di Natale alla gratitudine verso Laplace e prima ancora verso Nepero, che con la scoperta dei logaritmi ha reso possibile contare (e quindi raccontare) le stelle, come in fondo tentano di fare le luci natalizie.

La carriera militare di Mario Picone, matematico siciliano, dà lo spunto ai ricordi suscitati dalle letture della Yourcenar, della Byatt, e anche a pericolosi esperimenti aerodinamici con la gatta di casa. Allo stesso modo, trova spazio l'indugiare sul fascino puramente erotico della Rachel di *Blade Runner*, chiamata in causa sia da un cinema di paese sia dalla complicata infanzia di Norbert Wiener, padre della cibernetica; o la cronaca, davvero stupefacente, della quasi morte e quasi resurrezione del più grande tra i fisici dell'Unione Sovietica, per salvare il quale si mosse tutto il mondo della scienza, anche quello occidentale, nonostante la guerra fredda fosse al suo apice.

La narrazione scorre nelle pagine con ritmo più letterario che scientifico, forse perché della duplice natura di Chiara Valerio (matematica e scrittrice), il secondo aspetto è più recente. Ciò non di meno, da scienziata, Chiara Valerio si interroga continuamente, e non solo all'inizio e alla fine del libro, su quale possa essere la natura della matematica: e ripete spesso di apprezzare l'idea che la presenta come «grammatica del mondo». Eppure il suo libro sembra testimoniare anche la definizione più diretta e immediata che si ritrova ormai spesso in molti testi moderni, ovvero matematica come «studio delle relazioni».

Del resto, le due definizioni non si contraddicono e possono convivere, se non addirittura coincidere. La parola stessa «relazione» coniuga sia gli enti astratti della matematica sia quelli concreti della fisica, sia quelli più intimamente umani: i sentimenti.

Piero Fabbri

Conoscere gli animali domestici per capire l'evoluzione

Addomesticati
di Richard C. Francis
Bollati Boringhieri, Torino, 2016, pp. 496 (euro 25,00)

Sono accanto agli esseri umani da tempi remoti e ne condividono vita e lavoro, garantendosi così probabilità di sopravvivenza precluse alla fauna selvatica. La domesticazione è come un'assicurazione contro l'estinzione, ottenuta però al duro prezzo della sottomissione all'invasivo *Homo sapiens*. Richard Francis, scrittore scientifico con un passato da neurobiologo, introduce il lettore alla storia degli animali domestici, dimostrandone l'utilità sul piano divulgativo. Ripercorrere il processo di domesticazione vuol dire innanzitutto approfondire alcune questioni centrali della teoria dell'evoluzione, il che equivale a porre le fondamenta dell'intero edificio della biologia. Affinché l'esposizione non risulti troppo ostica, Francis sceglie di dedicare alcune sezioni all'approfondimento di concetti come genomica, biologia evoluzionistica dello sviluppo (o evo-devo), o, ancora, il dibattito tra sintesi moderna e sintesi estesa. I tratti comuni che si possono scorgere nelle specie domestiche più lontane trovano, così, un senso se visti da una prospettiva evolutiva.
La sezione che probabilmente incuriosirà di più il lettore è quella in cui si presenta l'ipotesi dell'autodomesticazione dell'essere umano, che ha seguito, come tutti gli altri animali, la direzione della mansuetudine, e ha favorito una tra le caratteristiche più importanti della nostra specie: la socialità. Neppure scimpanzé e bonobo, per altri versi così simili agli umani, eguagliano da questo punto di vista quello che già Aristotele definiva l'«animale sociale» per eccellenza. Conoscere la storia delle specie che ci sono accanto si rivela, quindi, un ottimo modo per comprendere meglio anche la nostra.

Anna Rita Longo

La rocce che ci cadono sulla testa raccontano l'universo

Il cielo che ci cade sulla testa
di Ettore Perozzi
Il Mulino, Bologna, 2016, pp. 140 (euro 11,00)

Alla fine del libro non riderete più tanto della paura di Abraracourcix: che il cielo gli cada sulla testa. Non esistesse solo dentro ai fumetti, dove è il capo del villaggio di Asterix e Obelix, siamo sicuri che Ettore Perozzi gli racconterebbe di quante volte il cielo sia già caduto sulla Terra sotto forma di Near-Earth Objects (NEO): asteroidi e comete che viaggiano su traiettorie a rischio di collisione con il nostro pianeta. Quando i NEO colpiscono possono sconvolgere una regione, come avvenne nel caso del proiettile che colpì Tunguska, in Siberia, nel 1908: milioni di alberi abbattuti su un'area di migliaia di chilometri quadrati. Ma se le dimensioni sono sufficienti, le conseguenze possono essere globali, come avvenne per il meteorite che 66 milioni di anni fa cadde vicino a Chicxulub, nell'attuale Messico, causando indirettamente l'estinzione dei dinosauri.
Dai tempi dell'astronomo francese Auguste Charlois, che nel 1898 individuò il primo vero e proprio NEO della storia, il catalogo di questi oggetti è diventato enorme e continua a crescere. Gli oggetti potenzialmente pericolosi sono monitorati in modo più attento, ma la domanda che ancora non ha una risposta definitiva è: come possiamo difenderci? Possiamo immaginare una missione come quella di Bruce Willis in *Armageddon*? La risposta è che non sappiamo se funzionerebbe. La scelta più sensata, sottolinea Perozzi, è continuare a studiarli, soprattutto sfruttando le sonde, che possono essere decisive in merito alla composizione dei diversi NEO e ci possono aiutare a capire come classificarli, in una griglia che ormai comprende diverse famiglie. C'è poi da sperare che l'adagio di Abraracourcix continui a reggere: «Che cada è certo, ma di sicuro non domani».

Marco Boscolo

Il mosaico delle popolazioni italiane

A settembre 2014 abbiamo pubblicato un articolo dal titolo *La nostra storia, tra cultura e geni* di Marco Capocasa, Davide Pettener e Giovanni Destro Bisol. Era l'articolo di copertina perché il tema trattato, diversità delle popolazioni italiane tra lingue e geni, era ed è ancora un tema che entra di diritto nel dibattito pubblico in tempi di identità nazionali. Darne massima visibiltà ci era sembrata la scelta più ovvia.
Ora lo stesso tema è argomento del libro *Italiani. Come il DNA ci*

aiuta a capire chi siamo (Collana Città della Scienza, Carocci, pp. 140, 13,00 euro) e la trattazione è certo più estesa rispetto al nostro articolo. Dopo aver spiegato come è possibile ricostruire la nostra storia, quella dei nostri antenati e parenti estinti, e come è stato demolito il concetto di razza umana, Destro Bisol e Capocasa, i due autori, entrano nel cuore della dissertazione. Studi di genetica e linguistica hanno dimostrato che la diversità tra le popolazioni italiane è tanto estesa da essere paragonabile, e per alcuni aspetti superiore, a quella osservata a livello dell'intera Europa. Dovremmo quindi riconsiderare la nostra identità nazionale, soprattutto in un'epoca di importanti cambiamenti demografici in atto nel paese.(*cb*)

Bergamo si veste di scienza per due settimane

Sedici giornate di eventi gratuiti aperti al pubblico, laboratori, conferenze e mostre, *workshop* interattivi nelle scuole. E ancora, incontri con alcune delle più significative personalità del panorama scientifico mondiale, toccando i temi più disparati, dalla chimica allo spazio, dalla neurobiologia alla fisica del suono: è questo il ricco programma di BergamoScienza, festival di divulgazione scientifica giunto quest'anno alla sua quattordicesima edizione, che si svolgerà nella città lombarda dal 1 al 16 ottobre.

Fra tutti gli interventi previsti spiccano quelli di due recenti Nobel per la chimica: Ada Yonath, insignita del premio nel 2009 per il suo contributo alla definizione della struttura e del funzionamento dei ribosomi, le «fabbriche di proteine» che si trovano all'interno delle cellule, e Dan Shechtman, premiato nel 2011 per la scoperta dei quasi-cristalli, solidi in cui nonostante la struttura ordinata si perde la periodicità tipica dei cristalli. Significativa anche la presenza del fisico Carl Haber, che spiegherà come far suonare i primi dischi fonografici della fine del XIX secolo sfruttando le tecnologie sviluppate al CERN di Ginevra, del biologo Henry Gee, che parlerà della storia dell'evoluzione, mentre Nadia Thalmann, della Nanyang Technological University di Singapore, illustrerà lo stato dell'arte su esseri umani virtuali e su robot simili all'uomo. Il faccia a faccia tra il neuropsichiatra Ray Dolan e l'economista Francesca Tamma introdurrà gli spettatori in un ambito di studi affascinante: il ruolo delle emozioni nei processi cognitivi e in particolare nelle decisioni.

Il 2016 è stato segnato anche dalla prima rilevazione diretta delle onde gravitazionali, grazie anche al significativo contributo di ricercatori italiani. Tra questi figurano Laura Cadonati, Eugenio Coccia e Adalberto Giazotto, che saranno a BergamoScienza per raccontare come si è arrivati a questo importante traguardo della fisica sia teorica sia sperimentale. Non poteva mancare inoltre una riflessione sulla pseudoscienza che tanto spazio trova attualmente su Internet: il tema sarà affrontato dal sociologo francese Gerald Bronner nell'incontro dal titolo *La democrazia dei creduloni*.

BergamoScienza sarà anche l'occasione per ascoltare concerti di artisti di fama internazionale, come il compositore estone Arvo Pärt e il coro Vox Clamantis, o per affrontare temi letterari, come il rapporto tra lingua e narrazione, illustrato dallo scrittore Luca Doninelli, finalista al Premio Campiello 2016.

Folco Claudi

Dove & quando:
BergamoScienza
dal 1 al 16 ottobre
varie sedi, Bergamo
www.bergamoscienza.it

Il festival di Genova nel segno dei segni

Indizi, testimonianze, tracce, simboli, gesti: alcuni segni possono apparire ambigui, poco chiari, ma la possibilità di comprenderne il significato è accessibile a chiunque. Proprio come la scienza, che è fatta dei segni che l'essere umano scorge nella natura ed è scritta con i segni del nostro linguaggio. Non a caso, quindi, «segni» sarà la parola chiave della quattordicesima edizione del Festival della scienza, che si terrà a Genova dal 27 ottobre al 6 novembre e come ogni anno proporrà eventi ispirati alle questioni più attuali e scottanti del dibattito scientifico. Il programma è vasto ed eterogeneo, e in 11 giorni si alterneranno ben 127 conferenze di esperti, 12 spettacoli a tema e 16 eventi speciali, tra cui un originale *show* dedicato a Enrico Fermi, che vedrà gli alunni delle scuole vestire i panni delle particelle elementari. Inoltre 82 laboratori organizzati da enti e istituti di ricerca, insieme a 33 mostre sparse per tutta la città, stimoleranno la partecipazione interattiva di grandi e piccoli.

Ad aprire la lunga serie di lezioni magistrali ci sarà l'intervento di Piero Angela, mentre a chiuderla penserà Martin Chalfie, premio Nobel per la chimica nel 2008. Gli argomenti spazieranno dai segni della genetica al linguaggio matematico, in grado di svelare futuro e tecnologia dei sistemi artificiali. Indizi su come risolvere l'enigma della materia oscura e come sfruttare al meglio i messaggi delle onde gravitazionali saranno inoltre al centro di numerosi dibattiti. Un'edizione, quella di quest'anno, che accorcia ancor più le distanze tra enti locali, università, istituti di ricerca, e semplici persone curiose, che vedono nel festival una chance per saperne qualcosa in più della scienza e dei segni che lascia.

Mattia Maccarone

Dove & quando:
Festival della Scienza di Genova
dal 27 ottobre al 1 novembre
varie sedi, Genova, www.festivalscienza.it

Trent'anni di Futuro Remoto

Piazza del Plebiscito, nel cuore di Napoli, ospita la trentesima edizione della manifestazione per la diffusione della cultura scientifica nata nel 1987

Nel 1987 il Congresso nazionale della Società Italiana di fisica si tiene a Napoli e, per l'occasione, un fisico con la passione per la divulgazione come Vittorio Silvestrini decide di organizzare un evento aperto al pubblico chiamato *Futuro Remoto*. Ventinove edizioni dopo, è ancora uno degli appuntamenti più rilevanti per la diffusione della cultura scientifica del nostro paese, accanto alle iniziative che un po' alla volta hanno coinvolto città di tutta Italia. Se non teme «la concorrenza», Città della Scienza, che organizza l'evento, non ha avuto paura nemmeno dopo il tremendo incendio del 2013, quando il futuro dello *science center* di Bagnoli sembrava imboccare una strada nera.

Per la trentesima edizione, e dopo il successo di pubblico dello scorso anno, con 150.000 presenze registrate dall'organizzazione, per la seconda volta *Futuro Remoto* torna a Piazza del Plebiscito, nel cuore di Napoli. Qui otto isole tematiche ospitano laboratori scientifici, incontri, conferenze, dimostrazioni, spettacoli e molto altro. Nello spirito di *Futuro Remoto*, che mette sempre al centro il rapporto tra scienza e società, il tema di quest'anno risulta assai attuale: costruire, attivare processi sociali e culturali per la realizzazione di una società democratica della conoscenza. Nel ricchissimo programma delle giornate spiccano alcuni appuntamenti speciali. Innanzitutto, l'evento inaugurale, durante cui Piero Angela e i suoi ospiti «spaziali» fanno il punto sull'esplorazione umana del cosmo e l'artista Pep Bou mette in scena uno spettacolo per raccontare le origini dell'universo. Altro ospite d'onore è Vaughan C. Turekian, consigliere per la scienza e la tecnologia del segretario di Stato del governo statunitense, che affronta il delicato tema del rapporto tra scienza e politica. Da non perdere anche il grande *hackathon* dei *makers* (legato alla Makers Fair di Roma) e il premio Start Up Campania: due eventi che sottolineano il legame tra scienza, tecnologia e il tessuto sociale e imprenditoriale.

Sul proprio blog, a proposito di quel 1987, lo stesso Silvestrini ricorda che «lo straordinario successo di pubblico conferma quanto la curiosità nei confronti del sapere scientifico sia diffusa, specie fra i giovani, e non soddisfatta dalle istituzioni scientifiche e culturali». Allora come oggi o nel 2050.

Marco Boscolo

Dove & quando:

Futuro Remoto 2016
dal 7 al 10 ottobre 2016
Piazza del Plebiscito, Napoli
www.cittadellascienza.it/futuroremoto/2016/

In centro città. Alcune immagini dell'edizione passata di Futuro Remoto, che si svolgerà anche quest'anno nella straordinaria cornice di Piazza del Plebiscito.

Cortesia G. Pasquinelli/BergamoScienza (*in alto a fronte*); cortesia Festival della scienza (*in basso a fronte*); cortesia Futuro Remoto (*tutte le foto in questa pagina, 3*)

Numero speciale Il futuro dell'umanità

Jurgen Ziewe/Getty Images

L'impatto della presenza degli esseri umani sulla Terra è ormai così pervasivo – e purtroppo quasi sempre devastante – da spingere alcuni studiosi, tra cui il premio Nobel per la chimica Paul Crutzen, a battezzare «antropocene» l'epoca geologica in cui stiamo vivendo. La proposta non è stata accettata da tutti, e non c'è nemmeno un accordo unanime su quando esattamente l'influenza dell'umanità abbia iniziato a lasciare un segno indelebile sul pianeta. Ma non c'è dubbio che la nostra specie sia il motore che sta cambiando il mondo, e insieme se stessa, in una sorta di gigantesco esperimento collettivo. In questo numero speciale, dieci articoli cercano di rispondere ad altrettanti grandi interrogativi su quello che possono significare questi cambiamenti per il futuro della specie umana.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - settembre 2016

ISSN 2499-0590

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe; *Executive vice president*: Michael Florek; *Vice president and associate publisher*: Michael Voss; *Design Director*, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Elena Bernacchi: *Il luogo più vuoto dello spazio, Una soluzione all'acqua salata;* Daniele Gewurz: *Sette anni di viaggio;* Lorenzo Lilli: *Il segreto della velocità*; Laura Servidei: *Sulle tracce della tigre,* Alfredo Tutino: *Lo stato di salute dell'umanità, Programmare computer: la rivoluzione.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia

abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00

Estero

abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

FIEG

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8099 del 6/4/2016

La salute è donna

Cure mirate e innovazione: la "terapia" di Teva per garantire all'universo femminile - e non solo - il benessere di oggi e di domani

Può sembrare un facile gioco di parole, ma la salute è di fatto un sostantivo femminile. E non è solamente una questione grammaticale: nell'esperienza di ciascuno di noi c'è una mamma, una nonna, una sorella o una compagna che hanno badato alla nostra salute dalla prima infanzia all'età matura.
Teva Italia, azienda farmaceutica mondiale che offre soluzioni di cura di alta qualità e su misura a milioni di pazienti ogni giorno, considera la donna come elemento chiave delle cure per sé e per chi le sta intorno, ambasciatore della prevenzione e degli stili di vita sani e garante dell'aderenza terapeutica per tutta la famiglia.
Teva Italia si impegna da anni ad aiutare le donne a vivere meglio, in modo più sano e più a lungo. Per questo sviluppa farmaci e trattamenti medici che siano d'aiuto alle donne in tutte le fasi della loro vita. E non lo fa semplicemente attraverso prodotti espressamente dedicati al gentil sesso - vedi alla voce contraccezione ormonale -, ma anche grazie a diversi farmaci innovativi per il trattamento di patologie che colpiscono solo - o in gran parte - il mondo femminile. Per citarne alcune, il tumore della mammella, la Sclerosi Multipla e l'osteoporosi. Teva Italia vuole supportare le donne non solamente nel corso della malattia o di terapie specifiche, ma anche nel loro ruolo familiare con iniziative specifiche dedicate in particolar modo alla promozione di una maggior cultura sull'aderenza terapeutica. Vuole cioè aiutare i pazienti a comprendere quanto sia importante assumere i farmaci correttamente, seguendo sempre le indicazioni del medico e del farmacista, sia per ottenere il massimo dell'efficacia terapeutica sia per prevenire complicazioni o l'aggravarsi della malattia stessa.

Chi è Teva

Teva Pharmaceutical Industries Ltd. è una delle principali aziende farmaceutiche mondiali. Oltre a essere il primo produttore di farmaci equivalenti – con un portfolio di oltre 1.000 molecole -, Teva, concentra la propria attività di sviluppo nell'area delle malattie neurologiche, oncologiche, respiratorie, della terapia del dolore, della salute della donna, oltre che nel settore dei farmaci biologici e degli OTC. È in grado dunque di offrire soluzioni terapeutiche mirate e di fornire risposte a 360° attraverso un'ampia scelta di prodotti e una sempre maggiore attenzione nei confronti delle salute della persone.

Italia
Teva Italia S.r.l.